

Trabajo Fin de Grado

Viabilidad técnica de los vehículos de combate
híbridos con ruedas.

Autor

Pablo Vicario Valdés.

Directores

Joaquín Mur Amada.

Eloy Teruel Gómez.

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2015

Agradecimientos:

Me gustaría, en primer lugar, agradecer la ayuda prestada por ambos directores para realizar este trabajo fin de grado. Primero agradecer al director militar, Eloy Teruel Gómez la ayuda prestada durante los casi dos meses de prácticas externas. A continuación al director académico, Joaquín Mur Amada por la ayuda prestada para realizar y poder finalizar este trabajo fin de grado.

También debo agradecer tanto al Centro Universitario de la Defensa como al Regimiento de Caballería España 11 la oportunidad que me han prestado para realizar este trabajo fin de grado.

Índice.

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	5
2. PRESENTACIÓN.....	5
3. ANTECEDENTES.	5
3.1. MODELOS CIVILES.	5
3.2. VEHÍCULOS DE COMBATE.	7
3.3. VEHÍCULOS DE COMBATE EN EL EJÉRCITO DE TIERRA.	9
4. ESTADO DEL ARTE.....	10
4.1. VEHÍCULOS HÍBRIDOS COMERCIALES.....	10
4.2. VEHÍCULOS HÍBRIDOS MILITARES.	10
4.2.1. <i>Humvee FED (fuel efficient demonstrator) Bravo.</i>	11
4.2.2. <i>Rooikat CVED (Combat Vehicle Electric Drive).</i>	12
4.2.3. <i>Programa APOP (Advanced Propulsion On board Program).</i>	13
4.2.4. <i>Otros proyectos de vehículos de combate híbridos</i>	13
4.3. OTRAS APLICACIONES QUE EMPLEAN LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA.....	14
4.3.1. <i>Camiones de minería.</i>	14
4.3.2. <i>Fragatas y grandes buques.</i>	14
5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VEHÍCULO DE COMBATE 8X8.	15
5.1. ESTUDIO DE VOLUMEN Y PESOS DE LA BATERÍA.....	15
<i>Datos necesarios para realizar dichos cálculos.</i>	15
<i>Conclusiones de dichos datos.</i>	17
6. ASPECTOS FUNDAMENTALES AFECTADOS POR LA HIBRIDIZACIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE COMBATE RUEDAS.	17
6.1. LOGÍSTICA.	17
6.2. <i>Estimación de ahorro de combustible con un sistema Start-Stop para un vehículo de combate</i>	18
6.3. MANTENIMIENTO.	18
6.4. POLÍTICA MEDIOAMBIENTAL DEL MINISTERIO DE DEFENSA.	19
6.5. SEGURIDAD ENERGÉTICA.....	20
7. CONCLUSIONES.	20
8. BIBLIOGRAFÍA:.....	23
ANEXO 1: CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS.....	27
ANEXO 2: COMPONENTES DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS.....	31
ANEXO 3:	34
ANEXO 4:	40

Lista de tablas y figuras.

Tablas.

Tabla 1: Comparativa entre los principales vehículos 8x8.

Tabla 2: Peso y volumen de las baterías de los vehículos 8x8.

Tabla 3: Comparativa entre los diferentes sistemas.

Tabla 4: Comparativa entre las diferentes formas de almacenar energía.

Tabla 5: Comparativa entre los principales tipos de batería.

Tabla 6: Características de los diferentes tipos de motores eléctricos.

Tabla 7. Motores eléctricos empleados por diferentes vehículos.

Figuras.

Figura 1: Modelo *Porsche Semper Vivus*.

Figura 2: Autobús urbano híbrido.

Figura 3: *Porsche Elephnat*.

Figura 4: 2 VBCI (Vehículo Blindado de Combate de Infantería) en Afganistán.

Figura 5: Izquierda: VEC (Vehículo de combate de Caballería), Derecha: *Panhard AML*.

Figura 6: *Humvee FED Bravo*.

Figura 7: Vehículo de combate *Rooikat CVED*.

Figura 8: Explicación del concepto V2G (*Vehicle to Grid*).

Figura 9: Prototipo del vehículo 8x8 *Toro*.

Figura 10: Importaciones de gas y petróleo en el año 2014.

Figura 11: Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido en paralelo.

Figura 12: Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido.

Figura 13: Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido mixto.

Figura 14: Vistas y medidas de un cazacarros *Centauro B1*.

Figura 15: Vehículo *Boxer*.

Figura 16: Vehículo *AMV Patria*.

Figura 17: Vehículo blindado francés *VBCI*.

Figura 18: Vehículo *Piraña III*.

Resumen.

Este trabajo fin de grado nace con el fin de estudiar los beneficios y las desventajas de la adquisición de un vehículo de combate 8x8 en su versión híbrida.

En dicho proyecto, no se pretende diseñar ningún vehículo híbrido de combate pero sí se quieren analizar las razones por las cuales, los ejércitos de tierra de varios países están interesados en los vehículos híbridos. Y las causas por las que los vehículos híbridos de combate sólo existen actualmente como prototipos en fase de desarrollo.

Para lo que se llevará a cabo un estudio del estado del arte tanto de los vehículos civiles como de los prototipos militares. A posteriori se analizará los puntos clave que se ven afectados por la adquisición de un vehículo híbrido, para finalmente obtener unas conclusiones a partir de estos puntos clave.

Abstract.

This Final Degree Project was born with the aim of studying the benefits and disadvantages of using an 8x8 hybrid combat vehicle.

It is not part of this project to design a hybrid combat vehicle. But it will be analyzed why there are some countries that are interesting in their acquisition and also why there have been only developed few military prototypes, which are still in the first part of their design.

To fulfill this project, it will be necessary to study the current state of art, not only the civil vehicle but also the military prototypes. After that, it will be studied the most important facts that are affected by using a hybrid vehicle as a result a conclusion will be done.

1. Introducción.

El presente proyecto está encuadrado dentro del Trabajo fin de Grado, asignatura de realización obligatoria para conseguir ser graduado de ingeniería de organización industrial.

Los alumnos debieron escoger el título del trabajo entre los posibles temas, los cuales habían sido propuestos por las diferentes unidades de caballería o la academia de caballería. En este caso el título inicial de dicho trabajo era, "Motores híbridos. Aplicaciones militares", y tras consultar con el director académico y con el director militar se decidió cambiar por el presente título, "Viabilidad técnica de los vehículos de combate híbridos con ruedas" y ha sido realizado por el Caballero Alférez Cadete del arma de Caballería Pablo Vicario Valdés.

1.1. Objetivos y alcance del proyecto.

El Ejército de Tierra se encuentra realizando el proceso de selección, para su posterior adquisición de un vehículo de combate 8x8.

Siendo el objetivo de este trabajo, el realizar un estudio de las posibilidades de empleo de los vehículos híbridos como vehículos de combate ruedas, tanto en el arma de caballería como en el de infantería. Para lo que se debe realizar.

1. Analizar el estado del arte actual tanto de los vehículos civiles comerciales, como de los diferentes prototipos militares.
2. Obtener las principales ventajas e inconvenientes de la adquisición de un vehículo de combate híbrido, tanto tácticas, logísticas y de mantenimiento. Así como analizar otros aspectos que se verían afectados por la adquisición de un vehículo de combate híbrido, como son la política medioambiental y la seguridad energética.
3. Obtener unas conclusiones propias, a partir de los aspectos que se ven afectados por la adquisición de un vehículo híbrido.

2. Presentación.

Actualmente el Mundo está cada vez más poblado, simultáneamente las necesidades de cada habitante aumentan cada día de forma progresiva. Esto ha provocado un aumento en el consumo de recursos energéticos no renovables como el carbón, petróleo y uranio. Además ha sido la causa de un aumento en la emisión de gases contaminantes, que parece ser el culpable del calentamiento global, lo que ha obligado al ser humano a buscar fuentes alternativas a este crecimiento.

En el campo de la automoción, todo parece indicar a que el vehículo del futuro tendrá un motor eléctrico, el cual será alimentado por baterías o bien mediante la pila de hidrógeno, (ver Anexo 2). Pero hasta que esto sea posible parece que el vehículo híbrido puede gozar de un gran protagonismo. Entendiéndose como vehículo híbrido aquel está formado por un motor de combustión interna y un motor eléctrico que es alimentado por unas baterías.

Entre las ventajas de los vehículos híbridos, se puede destacar, un menor consumo de combustible, una menor emisión de gases contaminantes y una menor contaminación acústica. A día de hoy todavía presentan algunos inconvenientes como una menor potencia que un vehículo convencional y un mayor peso. Además se debe añadir que estos modelos todavía presentan un coste superior a un vehículo que emplea solo un motor de combustión interna.

3. Antecedentes.

3.1. Modelos civiles.

A comienzos del siglo XX, a la par que se empiezan a desarrollar los primeros vehículos de combustión interna, *Ferdinand Porsche* desarrolla el primer vehículo híbrido de la historia, el

Semper Vivus. De acuerdo al artículo [1], dicho vehículo utilizaba un motor de combustión interna encargado de producir energía. Esta energía era almacenada en la batería, la cual se encargaba de alimentar los 2 motores eléctricos que estaban situados en los ejes de las ruedas delanteras. Inicialmente este modelo tuvo un gran éxito. Si bien unos años más tarde consigue extraerse el petróleo de forma intensiva lo que le permite constituirse al mismo como principal fuente de energía. Esto unido a que Henry Ford consigue fabricar vehículos en serie hace que el modelo *Semper Vivus* caiga en el olvido.



Figura 1: Modelo *Porsche Semper Vivus*, primer vehículo híbrido de la historia. Se puede apreciar los motores eléctricos situados en los ejes de las ruedas delanteras. Fuente: *GMotors*.

Según el artículo [2], fue a raíz de la crisis del petróleo en 1973, donde se demostró la excesiva dependencia del petróleo por parte de los países occidentales, y cuando se resucitó el interés por este tipo de vehículos. Hasta 1990 han sido probados diferentes modelos entre los que cabe destacar el *Toyota GT Hybrid concept*. La compañía *Briggs and Stratton*, que se dedicaba a fabricar máquinas cortacésped, desarrolló en 1980 un vehículo híbrido de seis ruedas tomando como modelo el vehículo híbrido mixto creado un año antes por *Dave Arthurs* con un motor de una máquina cortacésped y un motor eléctrico. A finales de 1980 *Audi* desarrolla el *Audi Duo*, un vehículo híbrido con base al *Audi 100*.

Si bien hasta 1997 no se vuelve a vender un vehículo híbrido siendo este el *Audi Duo III*, pero fue un gran fracaso debido a que sólo consiguieron venderse 60 unidades debido a su alto coste de fabricación. En diciembre de 1997 Toyota lanza el modelo de vehículo híbrido más popular, el *Toyota Prius*, el cual resulta ser un éxito y en su primer año en el mercado consiguen venderse 18000 vehículos. Desde que el Toyota Prius mostrase estos resultados, prácticamente todas las marcas de vehículos comerciales han introducido vehículos híbridos entre sus modelos.

También se han empezado a desarrollar autobuses urbanos híbridos como se comenta en [3]. Los cuales ya están circulando por las principales ciudades de España. En Madrid y Zaragoza está siendo empleado el modelo desarrollado por la empresa *Tata Hispano*. En Barcelona se está empleando el modelo desarrollado por la empresa *MAN*. Parece probable que en la mayoría de las ciudades de la geografía nacional terminen adquiriendo diferentes autobuses híbridos.



Figura 2: Autobús urbano híbrido en la ciudad de Barcelona. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona.

Un fenómeno parecido está ocurriendo con los camiones de recogida de basuras, cuyo ciclo de funcionamiento es principalmente urbano, al igual que los autobuses. En estas condiciones de conducción urbana, es donde mayor éxito presenta la función *“regenerative brake”*, o recuperación de la energía durante las frenadas.

Este desarrollo tan grande experimentado por los vehículos híbridos en la última década ha sido como consecuencia del aumento del precio de petróleo, unido a los incentivos fiscales que muchas gobiernos están llevando a cabo para favorecer la compra de estos vehículos. También debe ser mencionado que se ha producido un aumento en la preocupación por el agotamiento de las energías no renovables, junto con un aumento en la emisión de Dióxido de Carbono y gases contaminantes que parece estar relacionado con el calentamiento global. Esto ha obligado a las empresas automovilistas a intentar reducir las emisiones de Dióxido de Carbono y disminuir el consumo de petróleo.

3.2. Vehículos de combate.

En lo referido a los vehículos de combate, se puede considerar que los carros de combate nacieron a principios del siglo XX, con la aparición del motor de combustión interna y las cadenas de oruga.

Fue durante la I Guerra mundial (1914-1918), cuando los carros de combate experimentaron un gran desarrollo. Estos carros de combate nacieron con el objetivo de poder atravesar las trincheras enemigas. El primer carro empleado en la I Guerra Mundial fue el *Big Mother* o *Willie* desarrollado por el Reino Unido.

Francia en esta época según indica, [4], desarrolló el modelo *Saint Chamond*, el cual empleaba una transmisión diesel eléctrica, con un peso de 70 toneladas, (ver Anexo 1). Como la mayoría de los carros empleados en la I Guerra Mundial, su movilidad táctica era muy baja, lo que hizo que finalmente fuese empleado de igual forma que las piezas de artillería. Esto hizo que Francia finalmente decidiera desarrollar el Renault F17, con una movilidad táctica muy superior.

Acabada la I Guerra Mundial, Francia y Reino Unido continuaron siendo líderes en producción y desarrollo de carros de combate, debido a las limitaciones de armamento que le habían impuesto tanto a Alemania como a la Unión Soviética. Francia se decantó por un vehículo más pequeño para acompañar a las unidades de infantería. Reino Unido por el contrario prefirió la opción de un vehículo de mayor tamaño artillado, empleando la teoría mecanizada de *Fuller*. Si bien sus teorías servirían como base para sus enemigos, entre los que cabe destacar a los Generales *Frischst* y *Guderian*, este último escribiría el famoso libro *Achtung Panzer*. Durante el denominado periodo de entreguerras se desarrollaron de igual forma los vehículos blindados de transporte de personal.

Fue durante II Guerra Mundial cuando el carro de combate alcanzó su punto álgido, gracias a las lecciones aprendidas en la Guerra Civil española. Alemania agrupó sus carros

formando divisiones de carros con sus famosos *Panzer*. Rusia empleó principalmente el modelo T-34. Cuando Estados Unidos entró en la II Guerra Mundial, el principal carro de combate que empleó fue el Sherman. Reino Unido por su parte empleó el carro de combate *Rino*.

Debe tener especial consideración, el carro de combate *Porsche Elephant* desarrollado por el ejército alemán el cual según los artículos [5], y [6], empleaba una transmisión diesel eléctrica (ver Anexo 1) a imitación del vehículo *Semper Vivus*. Aunque el *Porsche Elephant* presentaba multitud de defectos tácticos, entre los que cabe destacar su lentitud, su gran dificultad para defenderse por los flancos y su gran peso (70 toneladas) hizo que dicho modelo no prosperase.



Figura 3: Porsche Elephnat, (el cual empleaba una transmisión diesel eléctrica), restaurado y expuesto en el *US Army Ordnance Museum, Aberdeen, Maryland*. A partir de este modelo se desarrolló el temido carro de combate Tigre. Imagen tomada por *Scott Dunham*, el 23 de abril de 2009. Fuente: Wikipedia.

Según la información consultada en la página web [7], el ejército americano también lanzó el carro de combate T-23 que empleaba una transmisión diesel eléctrica (ver Anexo1). Este no prosperó debido precisamente a dicha transmisión y al coste tanto económico como temporal de entrenar tripulaciones para un carro de combate diferente al Sherman.

Durante la II Guerra Mundial los principales vehículos de combate ruedas fue el *M8 greyhound* empleado por el Ejército de los Estados Unidos de América. Durante los primeros años de la guerra fría, el modelo más característico fue el *BTR 152* de la Unión Soviética.

Fue a partir de 1960 cuando el vehículo de combate ruedas empezó a gozar de un gran protagonismo. Según el artículo [8], el vehículo de combate ruedas presenta tanto una movilidad táctica como una potencia de fuego menor que el carro de combate principal. Su principal ventaja recaía en un coste bastante inferior al carro de combate principal. El vehículo de combate ruedas es más barato tanto en el momento de su adquisición, como durante su mantenimiento, además este mantenimiento es mucho más sencillo. Asimismo presenta un consumo de combustible bastante menor. Además presenta una alta movilidad operacional, estos pueden desplazarse por carretera con su propio tren de rodaje. Como su peso es bastante menor que el de un carro de combate, puede ser llevado a zona de operaciones en menor tiempo y con un coste inferior. Debido a estas características, y a un aspecto menos agresivo que el de un carro de combate, este ha sido empleado en la mayoría de las misiones realizadas por los países occidentales en el extranjero.



Figura 4: 2 VBCI (Vehículo blindado de combate de Infantería) en Afganistán. Como se ha comentado en el párrafo anterior los vehículos de ruedas han sido ampliamente utilizados en las misiones internacionales, debido a su mayor facilidad para ser desplazados hasta dicho escenario. Fuente: [8].

A finales de la guerra fría, Bélgica realizó un prototipo denominado Cobra. Este era un vehículo blindado ligero de cadenas con transmisión diesel eléctrica (ver Anexo 1) pero debido al final de la guerra fría (y la consiguiente disminución en la inversión militar) no llegó a ver la luz.

3.3. Vehículos de combate en el Ejército de Tierra.

En este apartado se mencionan los vehículos de combate más destacados empleados por el Ejército de Tierra español. Antes de la Guerra Civil debemos destacar el carro *Renault FT-17*, empleado en el famoso desembarco de Alhucemas.

Durante la Guerra Civil hay que destacar el carro *T26B* de origen soviético que fue empleado por ambos bandos durante la Guerra Civil, y siguió siendo empleado por el ejército durante los primeros años de la posguerra. Durante la dura posguerra española, aparte de los obsoletos carros de combate de la Guerra Civil, España adquirió el *Panzer IV* alemán. Acabada la II Guerra Mundial, España queda aislada internacionalmente lo que provoca que ningún vehículo pueda ser adquirido en este periodo. Con el inicio de la guerra fría, España consigue hacerse aliado de los Estados Unidos. Estos consideran a España como un socio estratégico muy importante y deciden colaborar militarmente con el envío de los carros de combate *M-41*, *M-47* y *M-48* que serán retirados progresivamente. Es durante este periodo cuando España recibe los vehículos *M113* o más conocidos como TOA (Transporte Oruga Acorazado) que a día de hoy continúan prestando servicio en el Ejército de Tierra. También es adquirido el vehículo 4x4 francés *Panhard AML*, que sería sustituido a finales de los años 70 por el 6x6 *VEC* (Vehículo de Exploración de Caballería).



Figura 5: Izquierda: VEC en el desfile de las fuerzas armadas del año 2008. Foto tomada en Zaragoza 1 de junio de 2008. Derecha: *Panhard AML90*, expuesto en el museo de Saumur General *Estienne*. Como se ha comentado el VEC fue el sustituto del vehículo *Panhard*

En 1970, para hacer frente al conflicto saharauí, España ordena la adquisición del carro AMX-30 de origen francés, el cual ha sido sustituido por el vehículo 8x8 B1 Centauro. A finales de los 80 llegarían los carros de combate M60, en cuyo caso han sido sustituidos por el *Leopardo 2E* y el *Leopard 2 A4*.

4. Estado del arte.

En este apartado, se realiza un estudio de los vehículos híbridos que pueden encontrarse actualmente en el mercado, así como los diferentes prototipos lanzados por empresas de defensa y otras aplicaciones, que emplean la transmisión diesel eléctrica como fragatas y camiones de minería.

4.1. Vehículos híbridos comerciales.

Según lo mostrado en el artículo [9], en España, en el año 2014, se han vendido la cantidad de 12.079 vehículos híbridos, lo que supone un aumento del 18.4% frente al año anterior. Esto supone una cuota de mercado del 1,45%. Cabe destacar que *Toyota* ha vendido 8.362 unidades y *Lexus* 3.309, lo que supone un total del 96.6% del total de los vehículos híbridos vendidos en España.

Además esta tendencia seguramente seguirá creciendo. Por una parte debido a las restricciones impuestas sobre el tráfico en las principales ciudades, debido a la alta contaminación atmosférica. Esto ocurrió el pasado mes de marzo en París, según la información consultada en [10], donde se prohibió el paso a todo vehículo cuya matrícula no acabase en número impar. Esta restricción no afectó a los vehículos híbridos independientemente de su matrícula. Por otro lado los incentivos fiscales a la compra de estos vehículos es probable que supongan un incentivo a su compra.

Según el artículo [11], este año está previsto que desembarquen en el mercado europeo los siguientes modelos híbridos. *Audi* desarrollará el *A4.e-TRON*, *Q7 e-TRON* y el *R8 e-TRON*, los cuales serán de versión Plug In. *BMW*, entre otros modelos presentará el *X5 eDrive* que también será de versión Plug In, con un motor eléctrico que permitirá desarrollar una potencia de hasta 70 kW. *Honda* lanzará su vehículo deportivo *NS-X*, el cual consta de un motor v6 de gasolina y 3 motores eléctricos. *Volkswagen* apostará por su gama *GTE* tanto en los modelos *Passat* como *Tiguan*, *Mercedes* sacará su modelo berlina *C300* en versión Plug In híbrido, denominado el *C350 e*. Por último *Volvo* presentará el *XC-90 T8* el cual será de tipo Plug In con un motor de gasolina en la parte delantera y el eléctrico en la parte trasera que tendrá capacidad para desplazarse hasta 40 kilómetros empleando únicamente el modo eléctrico.

En el anexo 4, se realiza una comparativa en el motor de combustión interna, el motor eléctrico y la batería entre los modelos *Chevrolet Volt*, *Honda Civic*, y *Toyota Prius*.

4.2. Vehículos híbridos militares.

En lo referente a los vehículos de combate híbridos, estos no han sufrido el gran desarrollo experimentado por los vehículos comerciales debido a que hibridizar un vehículo de combate presenta unos retos particulares. El artículo [12], cita cuatro principales dificultades para hibridizar los vehículos de combate:

Se están produciendo cambios continuos en las amenazas a las que los ejércitos deben enfrentarse. Estas amenazas deben de ser trasladados a los requerimientos de los vehículos. Esto implica un reto mucho mayor que en los vehículos híbridos comerciales.

1. Se están produciendo cambios continuos en las amenazas a las que los ejércitos deben enfrentarse. Estas amenazas deben de ser trasladados a los requerimientos de los vehículos. Esto implica un reto mucho mayor que en los vehículos híbridos comerciales.
2. El ciclo de vida de un vehículo de combate es bastante más largo que el de un vehículo convencional, debido a que es necesario una fuerte inversión económica para el desarrollo de un vehículo de combate y las series de producción son muy cortas. Por ejemplo el VEC español o el *M1 Abrams* americanos entraron en servicio a finales de los años 1970 y principios de 1980 y todavía continúan prestando su servicio. A día de

hoy, no se tiene todavía la suficiente experiencia en los modelos comerciales híbridos para conocer su mantenimiento así como la fiabilidad y la robustez de varios de los componentes de estos vehículos a tan largo plazo.

3. Los vehículos híbridos que permiten su empleo fuera de carretera han empezado a desarrollarse muy recientemente y la experiencia en este campo es casi nula. Por el contrario, los vehículos de combate son empleados la mayor parte de su tiempo fuera de carretera.
4. Los desarrollos producidos en los prototipos militares no producen sus resultados de forma tan rápida como lo hacen las marcas de vehículos comerciales, en muchas ocasiones, debido a la falta de datos y la escasez de pruebas que se pueden realizar en los vehículos de combate.

Sin embargo los vehículos híbridos militares presentan múltiples ventajas, entre las que se puede destacar el ahorro de combustible. Según dijo el General *T Conway* (el cual estaba al mando de los *Marines* de Estados Unidos) en el artículo [14], “este combustible supone entre 30% y el 80% de la carga de los convoys realizados en Afganistán, lo que supone un alto coste y riesgo. El precio del combustible se llega a multiplicar hasta por 400 en zona de operaciones”.

Un vehículo híbrido con unas baterías, que tuviesen la suficiente potencia, podría alimentar los dispositivos eléctricos y electrónicos del vehículo, incluido su armamento. Además las baterías más avanzadas, presentan la capacidad de diagnosticar y pronosticar sus fallos así como mitigarlos, gracias a los sistemas de gestión y control de energía que emplean los vehículos híbridos.

Estos vehículos presentan diferentes ventajas tácticas como una menor emisión de ruido o la disminución de su firma térmica. Esto les dota de una gran ventaja en las misiones de reconocimiento que implican sigilo y ocultación. Según [15], un vehículo híbrido presenta una mayor autonomía que un vehículo convencional y un mejor comportamiento en recorridos muy cortos, donde podría llegar a darse la posibilidad de que dicho vehículo realizara un desplazamiento muy corto empleando únicamente el motor eléctrico.

En cuanto a vehículos de combate híbridos, debemos destacar diferentes prototipos como el *FED-bravo*, un vehículo 4x4 con las mismas características que el *Humvee*, el *Rooikat* CVED, y el programa APOP desarrollado por los Estados Unidos.

4.2.1. *Humvee FED (fuel efficient demonstrator) Bravo.*

Según lo consultado en los artículos [16], [17] y [18], la variante FED Bravo, presenta las mismas características que el actual *Humvee* fabricado por *Hummer* que ha sido empleado por los Estados Unidos en múltiples misiones internacionales, como ha sido la guerra de Irak o Afganistán. Este modelo podría ser su sustituto ideal para realizar las misiones de reconocimiento y protección de convoyes, que son las misiones que realiza actualmente el *Humvee*. Además cumple con los mismos requerimientos que el *Humvee* actual y se puede afirmar que su movilidad táctica es la misma. El único problema que presenta actualmente este vehículo es que no puede ser fabricado en cadena, por la tecnología que emplea.

Este vehículo ha sido desarrollado de manera conjunta por estudiantes del *College for Creative Studies* de Detroit y el *TARDEC (The Tank Automotive Research, Development and Engineering Center)*. Se trata de un vehículo híbrido que emplea el sistema en paralelo (ver Anexo 1), el cual consta de un motor V8 turbo diesel de 4.4 litros de cilindrada que puede alcanzar una potencia de hasta 198 kW. Esta variante emplea una batería de Ion-Litio, (ver Anexo 2), junto a dos motores eléctricos (uno encargado de mover el eje delantero y otro encargado de mover el eje trasero).

Este modelo ha conseguido hasta un 90% de ahorro energético con respecto al *Humvee* actual. Además puede exportar la energía mediante el sistema *Microgrid*, que puede ser aprovechada por cualquier otro dispositivo eléctrico.



Figura 6: *Humvee FED Bravo*. Fuente: Ejército de Estados Unidos de América.

4.2.2. *Rooikat CVED (Combat Vehicle Electric Drive).*

El vehículo de combate *Rooikat* entró en servicio en las fuerzas armadas de Sudáfrica en el año 1990. Se trata de un vehículo 8x8 propulsado por un motor diesel de 10 cilindros que desarrolla una potencia de 414 kW. Presenta un peso aproximado de 28 toneladas y su armamento principal se trataba inicialmente de un cañón de 76 mm, que fue sustituido por un cañón de 105 mm en el año 2004. En el año 2006 se utilizó su plataforma para desarrollar un vehículo híbrido, denominado *CVED (Combat Vehicle Electric Drive)*, el cual se exhibió en Ciudad del Cabo. Para su desarrollo se realizaron diferentes pruebas con un camión híbrido en distintos escenarios. Finalmente se fabricó un vehículo que posee ocho motores eléctricos de imanes permanentes con un diámetro inferior a 50 cm (ver Anexo 2), integrados en todas sus ruedas. Este modelo puede desarrollar una potencia constante de 80 kW cuando los motores eléctricos actúan como tracción y regenerar hasta una potencia de 400 kW cuando aprovecha la energía de las frenadas para recargar la batería. Para el sistema de almacenamiento de energía se barajaron diferentes posibilidades, pero finalmente se decidió emplear las baterías de níquel-hidruro. Estas baterías le permiten alimentar toda la electrónica del vehículo e incluso realizar desplazamientos cortos.

Con este modelo se ha conseguido reducir el peso en 2 toneladas y ganar 1.5 metros cúbicos. La información sobre el vehículo *Rooikat* se ha obtenido en los artículos [19] y [20].

Sin embargo, según publica el artículo [21], esta iniciativa no parece haber tenido éxito suficiente, debido a que Sudáfrica está actualmente inverso en el programa de compra del vehículo de combate de infantería 8x8 *Hoefyster*, que ha sido desarrollado por la empresa finlandesa *Patria* y emplea un motor de combustión interna.



Figura 7: Vehículo de combate *Rooikat CVED* esperando para realizar una demostración en la ciudad de Waterkloop. Fuente: Wikipedia.

4.2.3. Programa APOP (Advanced Propulsion On board Program).

Programa cuyo desarrollo está siendo llevado a cabo por *TARDEC* al igual que el vehículo *FED Bravo*. Este programa busca la forma de obtener energía eléctrica sin necesidad de emplear los generadores diesel. Surge a partir del concepto *vehicle to grid* (V2G), que según [22] se puede definir como un sistema capaz de controlar el flujo de energía entre la batería del vehículo y la red eléctrica. En dicho sistema, la energía fluye de la red a la batería cuando se necesita recargar dichas baterías y en sentido contrario cuando las baterías tienen energía y el vehículo no la necesita, (el vehículo contribuye a la resiliencia de la red eléctrica a la que se conecta).

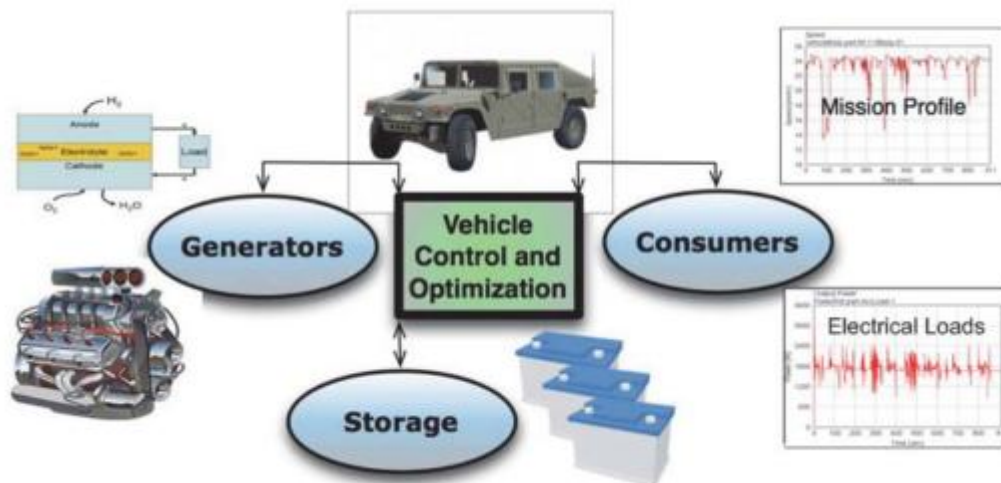


Figura 8: Explicación del concepto V2G, (*Vehicle to Grid*). Las fuentes de almacenamiento son las baterías del vehículo híbrido, la energía es generada a partir del motor de combustión interna y es consumida por el equipamiento del propio vehículo. Fuente: [12].

El constante aumento en la demanda de electricidad por parte de los vehículos de combate está llevando al límite al sistema eléctrico de 24 V empleado por los vehículos de combate en la actualidad. Para dar respuesta a estas necesidades surge el programa *APOP* con el objetivo inicial de electrificar inicialmente el vehículo de combate *Stryker* y a posteriori el *Bradley*. En este proyecto se pretende conseguir electrificar el vehículo y alimentar sus componentes electrónicos a partir de la energía producida por un generador de mayor tensión que posteriormente es almacenada en unas baterías.

Según las referencias [23] y [18], el programa *APOP*, pretende desarrollar un vehículo *mild-Hybrid*, con un generador el cual iría acoplado en el convertidor de par de la transmisión. En el caso del vehículo *Stryker*, dicho generador tendría una potencia de 120 kW y estaría acoplado a unas baterías de Ion-Litio, (ver Anexo2), de baja tensión. Estas baterías, colocadas en serie pueden conseguir el nivel de tensión deseado para alimentar los componentes electrónicos del vehículo, así como mantener el aire acondicionado o los sistemas de ventilación cuando el motor de combustión interna del vehículo se encuentra apagado. Esto implica un gran ahorro de combustible sobre todo en las misiones de vigilancia.

Incluso la energía generada y almacenada en las baterías podría ser luego aprovechada en las bases o acuartelamientos gracias al sistema V2G (*Vehicle to Grid*), lo que reduciría la dependencia de los generadores diesel.

4.2.4. Otros proyectos de vehículos de combate híbridos.

Asimismo, se debe nombrar el prototipo 8x8 *AHED* (*Advanced Hybrid Electric Drive*), desarrollado por la empresa *General Dynamics* en el año 2006. Según el artículo [24], este modelo emplea un motor diesel MTU 6V-199, con un generador de 360 kW. Este modelo, al igual que vehículo *Rooikat CVED*, presenta unos motores eléctricos integrados en las ruedas y puede desarrollar una potencia por unidad motora eléctrica de hasta 110 kW. Esto permite a un vehículo de 20-30 toneladas mantener la misma movilidad que poseen los vehículos que emplean propulsión diesel.

Igualmente la empresa francesa *Nexter*, según lo mostrado en [25], desarrolló un vehículo híbrido 6x6 denominado *DPE (Electric Propulsión Demonstrator)*, que emplea una transmisión diesel eléctrica. Posee un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes (ver Anexo 2), que se encuentra integrado en cada una de sus ruedas y un generador. Sus baterías son de níquel-hidruro que le otorgan una autonomía de 15 kilómetros en modo sigiloso.

Por último mencionar diferentes prototipos militares entre los que se puede destacar el vehículo 8x8 Toro desarrollado por las empresas españolas *NTGS* y *Everis*, que de acuerdo a los artículos [26] y [27] está diseñado para emplear el sistema híbrido en serie con un motor eléctrico en cada una de sus ruedas motrices. Según el fabricante podría llegar a desplazarse durante 20 kilómetros empleando únicamente los motores eléctricos.



Figura 9: Prototipo del vehículo 8x8 Toro. Fuente: NTGS.

4.3. Otras aplicaciones que emplean la tecnología híbrida.

Los sistemas comentados en este apartado, funcionan con una transmisión diesel eléctrica o vehículo híbrido con sistema en serie (ver Anexo1). La principal ventaja de este sistema es que es capaz de proporcionar un par elevado a baja velocidad.

4.3.1. Camiones de minería.

La compañía Caterpillar, es la única que todavía sigue fabricando camiones de minería con transmisión mecánica, debido a que en 1970 decide abandonar la transmisión diesel eléctrica (ver Anexo1) y apostar por la transmisión mecánica. No obstante, según informa en su propia página web [28], analiza cada caso con el cliente de manera individual para ver que transmisión emplear en cada unidad.

El resto de fabricantes de camiones de minería emplean la transmisión diesel eléctrica (sistema híbrido en serie). Los artículos [29] y [28], afirman que estos camiones constan de un motor diesel que acciona un alternador. El alternador produce energía en forma de corriente alterna, que es enviada a un rectificador donde se transforma en corriente continua. Cada uno de sus ejes presenta un motor eléctrico que es alimentado por la corriente continua permitiendo su rotación y permitiendo el movimiento de dicho camión. Cuando se encuentra en la fase de retardo dinámico, la energía mecánica se transforma en eléctrica por conversión del motor, y esta energía es disipada por unas resistencias en forma de calor. Estos camiones funcionan igual que un vehículo híbrido, siendo su diferencia que no almacena la energía que producen.

En la transmisión mecánica tradicional, la velocidad del motor está rígidamente acoplada a la velocidad de la rueda. Esto no ocurre con la transmisión en serie.

4.3.2. Fragatas y grandes buques.

Aquellos barcos donde el nivel de ruido es una característica fundamental en su diseño, como es el caso de los submarinos, de los buques de guerra, de los buques de expedición o de los cruceros (en este último caso por comodidad de los viajeros), se está empleando una transmisión diesel eléctrica (ver Anexo1). Según lo comentado en [30] y [31], entre sus ventajas destaca su alta flexibilidad, lo que permite dar la respuesta óptima tanto a alta como a baja velocidad. Dicho buque puede ser propulsado tanto por el motor de combustión de interna

como por el motor eléctrico, lo que da como resultado un sistema de propulsión muy fiable. Además reduce los costes de mantenimiento de planta, ya que el sistema propulsor trabaja cerca de su máxima eficiencia. También los costes de servicio son menores debido a que se ha disminuido el número de motores diesel y el mantenimiento de los motores eléctricos es menor. Otra gran ventaja es la ausencia de transmisión mecánica, lo que permite que los motores diesel puedan desacoplarse acústicamente del casco reduciendo su nivel de ruido. A esto es posible añadir baterías recargables, lo que permite maniobrar en absoluto silencio.

Según la información mostrada en [32], las fragatas alemanas F125 (las cuales está previsto que entren en servicio en el 2016) emplearán este tipo de planta propulsora. En España, según lo publicado por [33], la futura fragata F-110, que empleará previsiblemente esta planta propulsora.

5. Características técnicas del vehículo de combate 8x8.

Un vehículo de combate posee unas características técnicas que lo diferencian de un vehículo convencional. Estas son su protección y supervivencia (lo cual afecta de manera significativa al peso del vehículo), su movilidad y la potencia de fuego.

Dicho vehículo de combate debe presentar tanto una alta movilidad táctica como estratégica. La movilidad táctica se define como la capacidad del vehículo para moverse por el campo de batalla. Esta movilidad táctica está determinada por el grupo motriz, tren de rodaje y suspensión, dirección, frenos y equipos de visión nocturna y diurna. El grupo motriz debe tener una potencia aproximada de entre 405 y 441 kW. El grupo motriz debe ser fiable y sencillo de mantener por lo que dicho sistema debería incluir un sistema de auto-test y conjuntos fácilmente reemplazables para evitar que su reparación deba ser efectuada por los escalones de mantenimiento superiores.

En este apartado se comenta las características técnicas principales del vehículo Centauro, que se encuentra en dotación en las unidades de caballería y se compara con las características técnicas de los vehículos 8x8 *Boxer*, el *AMV Patria*, el *VBCI francés* y el *Piraña3*. En la Tabla1 se compara el peso, la unidad motora, el volumen interno y el sistema eléctrico de los vehículos anteriormente citados. Para obtener más información sobre dichos vehículos consultar el Anexo 3.

Vehículo	Peso (Toneladas)	Potencia de la unidad motora (kW)	Sistema eléctrico (V)	Volumen interno (metros cúbicos)
<i>Centauro B1.</i>	26,850	382	24	—
<i>Boxer.</i>	33	529,5	24	14-17,5 (según la versión)
<i>Patria AMV.</i>	26	397,2	24	13.5
<i>VBCI.</i>	28	404,5	24	13
<i>Piraña.</i>	Varia 25-30	331 y 426,6	24	13- 15.

Tabla 1: Comparativa entre los principales vehículos 8x8.

5.1. Estudio de volumen y pesos de la batería.

En este punto se realizan los cálculos para estimar la masa y el volumen de las baterías de Ion-Litio, necesaria para realizar un cambio de posición (sin contacto directo con el enemigo), tanto en una maniobra ofensiva como defensiva, o la ocupación de una posición de tiro en una defensiva.

Datos necesarios para realizar dichos cálculos.

Según los datos mostrados en la tabla numero 5 (dentro del Anexo 2), la batería de polímero de Litio, (ver Anexo 2), posee una energía específica que varía entre los 100-

200 Wh/kg, por lo que se tomará el valor medio para los cálculos (150 Wh/kg). Su densidad energética varía entre 150 y 350 Wh/l, por lo que se tomará el valor medio de 250 Wh/l para los cálculos.

La potencia nominal está directamente extraída de la tabla 1.

La energía necesaria se ha obtenido considerando una autonomía de 10 minutos con una potencia del 20% con respecto al máximo.

Este 20% se ha elegido porque se ha hecho la suposición de la energía necesaria para un cambio de posición del vehículo o la entrada en una posición de tiro. Dicho cambio de posición se efectúa encendiendo el motor y desplazando el vehículo a baja velocidad (para evitar ser detectado). Este suele ser de una distancia entre 100 y 1000 m. En el caso de una posición de tiro, previo a su ocupación, el vehículo se encuentra en una posición de espera a unos 250 m de la posición de tiro (a oculto de la visión del enemigo).

Dicho cambio de posición se realiza a baja velocidad, por lo que se ha supuesto que en dicho cambio de posición se emplean 10 minutos.

Para calcular la energía necesaria en el caso del Centauro, se debe aplicar el 20% de 382 kW (potencia máxima que entrega), cuyo resultado es igual a 76,4kW. Este dato debe ser multiplicado por los 10 minutos (la sexta parte de una hora) necesarios para realizar el cambio de posición obteniéndose $76,4 \text{ kW} \times 1/6 \text{ horas} = 12,73 \text{ kWh}$.

Para obtener la capacidad nominal (C) de las baterías se ha tenido en cuenta la energía necesaria (E). Se ha supuesto una descarga de 100% hasta el 30%, con el objetivo de aumentar la vida útil de las baterías. Cuando una batería se descarga por completo, su vida útil es menor. En el caso del vehículo 8x8 Centauro, la capacidad nominal de las baterías es igual a $12,73 \text{ kWh} \div (100 \% - 30 \%)$. Se obtiene un resultado igual a 18,19 kW, aunque para hallar la masa (M) y el volumen (V) se redondea a 20 kW. Con el resto de vehículos para hallar la masa y el volumen, también se redondea dos (2) unidades superiores.

Para hallar la masa se ha considerado una batería de polímero de Litio, (ver Anexo 2), tomando la capacidad nominal (C) del párrafo anterior (como se ha comentado se redondea dos unidades superiores) y la energía específica obtenida en la tabla 2. La fórmula empleada para obtener la masa de las batería es igual a (capacidad nominal/energía específica). En el caso del Centauro, su masa es de $20000 \text{ W} \div 150 \text{ Wh/kg} = 133 \text{ Kg}$.

Para obtener el volumen se ha empleado la formula $\text{Volumen} = (\text{Capacidad nominal (C)} \div \text{densidad energética})$, obteniendo la densidad energética en la tabla número 2 considerando una batería de polímero de litio. En el caso específico del Centauro el volumen de su batería es de $(20000 \text{ W} \div 250 \text{ Wh/l})$, obteniéndose un resultado de 80 litros.

En la tabla 2, se especifica la masa y el volumen de las baterías que emplearían los vehículos 8x8 *Centauro*, *Patria AMV*, *Piraña III*, *VBCI* y *Boxer*.

Vehículo.	Potencia Nominal. P	Energía necesaria. $E = 20 \% \times P \times (1/6 \text{ h})$	Capacidad nominal de las baterías. $C = \frac{E}{(100 \% - 30 \%)}$	Masa. $M = \frac{E}{150 \text{ Wh/Kg}}$	Volumen. $V = \frac{E}{250 \text{ Wh/l}}$
Centauro B1	382 kW	12,73 kWh	18,19 kW	133 Kg	80 L
Patria AMV	397,2 kW	13,24 kWh	18,91 kW	140 Kg	84 L
Piraña III	331 kW	11,03 kWh	15,76 kW	113.3 Kg	68 L
VBCI	404,5 kW	13,48 kWh	19,26 kW	146,6 Kg	88 L
Boxer	529,5 kW	17,65 kWh	25,21 kW	180 Kg	108 L

Tabla 2: Peso y volumen de las baterías de los vehículos 8x8 necesarias para realizar un cambio de posición.

Conclusiones de dichos datos.

Considerando el caso que presenta un mayor peso y un mayor volumen que sería el caso del vehículo 8x8 *Boxer* debido a que su motor es el que entrega una mayor potencia. La batería necesaria, presentaría un peso de 180 Kg que en comparación con las 33 T de peso de este modelo, supone menos de un 0,6 %. En lo referente al volumen la batería necesaria tendría un volumen de 108 litros, que frente a los 14 000 litros de volumen interno que posee el modelo con techo bajo representa un porcentaje menor al 0,8 %. Como se ha visto el volumen que ocupa dicha batería es muy pequeño, pero el volumen interno en la mayoría de los vehículos de combate es un factor crítico, lo que obligará a realizar algún cambio en el diseño de dicho vehículo.

En estos cálculos, no se ha tenido en cuenta la masa del alternador, el cableado y de la electrónica. En un vehículo híbrido en paralelo, la masa de estos componentes debe sumarse a la masa del vehículo. Pero en un sistema híbrido en serie, la transmisión mecánica es sustituida por una transmisión diesel eléctrica que puede incluso llegar a reducir la masa del vehículo.

Estos datos permiten pensar que es posible llevar a cabo el desarrollo de un modelo *Strong-Hybrid* (ver Anexo 1). Esto permitirá realizar pequeños desplazamientos como cambios de posición u ocupación de puestos de tiro únicamente empleando el motor eléctrico, y no implica un excesivo problema de volumen ni de peso.

6. Aspectos fundamentales afectados por la hibridización de los vehículos de combate ruedas.

6.1. Logística.

El principal defecto de los vehículos de combate, tanto ruedas como cadenas, reside en su gran servidumbre logística, tanto de munición como de combustible y repuestos.

Las necesidades de munición no varían pero si las necesidades en el consumo de combustible, como se ha podido ver en el estudio del estado del arte de los vehículos militares. Si las baterías son capaces de alimentar los diferentes componentes electrónicos del vehículo con el motor de combustión interna apagado, dicho vehículo podría conseguir un gran ahorro de combustible. Según unas estimaciones mostradas en el artículo [18], durante la mitad del tiempo de funcionamiento del motor, el vehículo se encuentra estático (parado). Esto es debido a que si se quiere mantener empleando los componentes electrónicos del vehículo, como el armamento, el aire acondicionado o la radio, es necesario mantener el motor de combustión interna encendido para recargar las baterías que proveen la energía a los componentes electrónicos del vehículo. Con un vehículo híbrido, el motor de combustión interna podría estar

apagado durante parte de este tiempo siendo, únicamente las baterías las encargadas de proveer la energía al armamento y demás elementos electrónicos del vehículo.

Como desventaja principal en el aspecto logístico, los prototipos empleados hasta el año 2008 empleaban entre 30 y 40 baterías, lo que supone un gran defecto no sólo en su logística sino también en su mantenimiento.

6.2. Estimación de ahorro de combustible con un sistema Start-Stop para un vehículo de combate.

Según personal del Regimiento de Caballería España 11, un vehículo de combate tipo *Centauro* realiza una media de 330 horas al año.

Según el artículo publicado en *Motorpasión* [34], un camión *Scania* con un motor de 620 CV o 456 kW, (que es aproximadamente la misma potencia que desarrolla el motor de un vehículo 8X8), consume a ralentí entre 2 y 3 litros a la hora cuando el motor está caliente, y entre 8 y 9 litros a la hora cuando el motor está frío.

Durante el 50 % del tiempo de funcionamiento del motor, dicho vehículo se encuentra estático. Haremos la suposición de que con las baterías de un vehículo híbrido dicho tiempo se reduce a un 25 %. En el caso del *Centauro* supone un ahorro total de 82,5 horas al año de funcionamiento respecto a la situación anterior, $(330 \times 50 \%) - (330 \times 25 \%) = 82,5$ horas.

Suponiendo que el motor no está caliente y que la demanda eléctrica del vehículo es elevada, el consumo de combustible ascenderá a 9 litros la hora. En estas circunstancias se consigue un ahorro de 742,5 litros de combustible al año por vehículo de combate.

Si además se consigue implementar el programa V2G (*Vehicle to Grid*), que está desarrollando *TARDEC*, no sólo presentaría la ventaja logística del ahorro del propio combustible del vehículo, sino que además dicho vehículo podría ser empleado como generador de emergencia que puede apoyar o incluso sustituir a los actuales generadores diesel.

Este ahorro de combustible que se logra con la implantación del sistema *Start-Stop*, demuestra que con una pequeña modificación se consigue un gran ahorro. No obstante las baterías encargadas de mantener la alimentación los componentes electrónicos del vehículo y la gestión de su carga deben ser modificadas respecto a las empleadas en la actualidad, para incrementar su autonomía.

Resulta sorprendente que cualquier teléfono móvil tenga un sistema de gestión de su batería mucho más avanzado que el de un vehículo de combate. Si este *know-how*, se transfiere al sistema de alimentación eléctrica del vehículo de combate, se conseguiría aumentar la vida de sus baterías y se podría hacer un mantenimiento predictivo que evitase la inmovilización del vehículo por un fallo de sus baterías.

6.3. Mantenimiento.

Existe la creencia popular, de que un vehículo híbrido es mucho más caro de mantener que un vehículo con un motor de combustión interna, debido a la complejidad del sistema de propulsión que emplea.

Sin embargo, según [35], sus componentes mecánicos requieren los mismos cuidados que un vehículo de combustión interna. En cuanto a los componentes eléctricos, su motor eléctrico es prácticamente eterno, siendo su desgaste mínimo. Los sistemas de transmisión continuos no emplean correas y no son necesarias las revisiones. Según un estudio realizado por [36], sólo es necesario revisar los niveles de aceite y complementos del vehículo. En lo referente a las baterías, que es otra de las grandes preocupaciones de los propietarios de estos modelos, el artículo [35] indica que estas baterías están diseñadas para que no sean sustituidas durante el ciclo de vida del vehículo. En España presentan una garantía de 5 años, 8 años en Estados Unidos o 100000 millas y en caso de avería, estas pueden ser reemplazadas con un coste de 1400 €.

En cuanto al precio de este mantenimiento, en los modelos civiles, un estudio realizado por la empresa *Audatex* y recogido por [37], indica que, un vehículo híbrido resulta un 50 % más barato de mantener debido a que estos vehículos eliminan componentes como el embrague, el alternador, el motor de arranque y la correa de distribución que deben ser

cambiadas con su uso. Además se produce un menor desgaste de las pastillas de frenos debido a la función de la frenada regenerativa.

A la par, se debe nombrar la ventaja que presenta la transmisión diesel eléctrica, (ver Anexo 1), la cual sustituye los componentes mecánicos por eléctricos que presentan menos costes de mantenimiento.

No obstante, implantar esta nueva tecnología implica un gran coste al tener que;

- Equipar el taller de mantenimiento para las nuevas necesidades.
- Cambiar el inventario de repuestos y ampliar los requerimientos de seguridad.
- Realizar un curso de formación para los mecánicos debido a que deben de trabajar con algo con lo que están familiarizados.

6.4. Política medioambiental del ministerio de defensa.

La preocupación por el medio ambiente es una constante en los habitantes de los países desarrollados. Estos habitantes apuestan por el crecimiento sostenible, en el que el cuidado medioambiental debe tener un lugar primordial. Las Fuerzas Armadas como institución de esta sociedad no puede permanecer ajena a esta preocupación, y por lo tanto ha debido elaborar diversa normativa que regule el cuidado medioambiental.

El marco de colaboración entre el Ministerio de Defensa y el Ministerio de Medio Ambiente facilita al Ministerio de Defensa cumplir con la directiva 107/1997. Esta normativa regula el comportamiento del Ministerio de Defensa con el medio ambiente y en el año 2010, se crea la subdirección general de Sostenibilidad Ambiental y Eficiencia Energética encargada de la gestión medioambiental.

La dirección general de infraestructuras ha elaborado el Plan General de Medio Ambiente dentro del Plan Director de Infraestructuras 2007-2021, donde se persigue alcanzar los siguientes puntos, de acuerdo con [38].

1. Concienciación: Mejora de la conciencia individual y colectiva en las Fuerzas Armadas con respecto al medio ambiente, mediante el conocimiento de la situación y programas de formación, información y divulgación, tanto interna como externa
2. Ahorro energético y fomento del uso de energías alternativas: Ahorro y eficiencia en el consumo, potenciando en lo posible la utilización de energías más limpias y/o renovables.
3. Protección del medio natural: Actuaciones agroforestales en las propiedades del Ministerio de Defensa y establecimiento de normas de comportamiento y/o actuación que prevengan el deterioro del Medio Natural y faciliten su recuperación allí donde resulte posible.
4. Mejora de la Calidad Ambiental: Lucha por minimizar la contaminación que las Fuerzas Armadas y sus actividades puedan producir al medio ambiente, en toda su extensión.

La principal ventaja de adquirir un vehículo híbrido supondría cumplir con el punto 2 ya que el vehículo híbrido presenta un ahorro energético (menor consumo de combustible). También se obtendría cierta ventaja en el punto 4, debido a que las emisiones de gases contaminantes producidas por un vehículo híbrido son menores que la emisiones producidas por un vehículo convencional.

Según el manual [39], de conducción eficiente elaborado por la UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia), al quemar un litro de diesel se generan 2,6 kg de Dióxido de Carbono.

Como se ha visto en el punto 6.1, un vehículo de combate híbrido puede llegar a ahorrar 742,5 litros de combustible al año. Esto supone que se dejarían de emitir 1930,5 kg de dióxido de carbono por vehículo al año (742,5 litros de combustible ahorrados multiplicados por 2,6 kg de dióxido de carbono producido por litro quemado de diesel).

6.5. Seguridad energética.

La Unión Europea es una de las regiones más dependientes energéticamente del exterior, debido a su pequeño grado de autosuficiencia. Según el informe anual de Seguridad Nacional, España (dentro de la Unión Europea) es uno de los países más vulnerables, debido a su gran dependencia energética y a su baja interconexión energética con el resto de Europa. Los objetivos estratégicos de España en materia de seguridad energética son la diversificación de las fuentes de energía, garantizar la seguridad y el abastecimiento e impulsar la sostenibilidad energética.

Para alcanzar estos objetivos estratégicos, se ha puesto énfasis en el abastecimiento, la distribución, y el consumo.

En el abastecimiento se busca diversificar al máximo las fuentes de obtención de energía, especialmente en lo referente al gas y a petróleo como muestra la figura número 10, En esta figura se puede apreciar cómo se intenta diversificar los proveedores siendo únicamente un proveedor crítico Argelia en lo referente al gas natural.

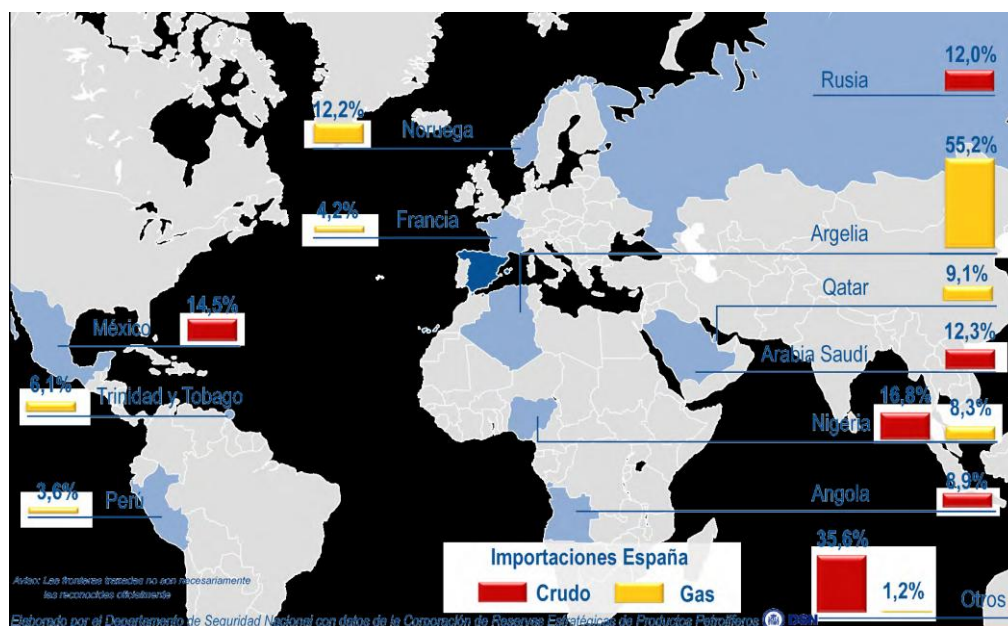


Figura 10: Importaciones de gas y petróleo en el año 2014. Fuente: Departamento de Seguridad Nacional a partir de datos de la Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos.

En la distribución se busca la seguridad y la mejora de las infraestructuras empleadas para el transporte de dicha energía.

Por último se debe destacar el consumo, donde se intenta fomentar el ahorro energético y la mejora de la eficiencia energética. Es en este punto donde la adquisición de vehículos híbridos supondría para España una clara ventaja, debido al menor consumo de combustible, favoreciendo el ahorro energético y disminuyendo la dependencia española de petróleo respecto al exterior.

7. Conclusiones.

Adquirir un vehículo 8x8 híbrido supone un cambio brusco, que trae consigo unos beneficios y unos inconvenientes. Entre los beneficios que aporta esta tecnología se puede destacar;

- Logística; como dijo el General *T Conway*, “entre el 30 y 80% de la carga de un convoy logístico lo supone el combustible” [14], y los vehículos híbridos presentan un menor consumo de combustible. Únicamente, introduciendo el sistema *Start-Stop* puede llegar a ahorrarse 742,5 litros de combustible por vehículo al año, reduciendo de esta forma la servidumbre logística en

combustible. Además un vehículo híbrido puede ser empleado como grupo electrógeno, disminuyendo el consumo de los actuales generadores diesel.

- Mantenimiento; este resulta más barato y sencillo debido a que los componentes eléctricos presentan un ciclo de vida muy superior al de los componentes mecánicos. Además la ausencia de componentes mecánicos en la transmisión diesel eléctrica facilita y abarata su mantenimiento, y gracias al frenado regenerativo los frenos presentan un ciclo de vida mucho más largo.
- Cuidado medioambiental; los vehículos híbridos, suponen una reducción en las emisiones de Dióxido de Carbono de aproximadamente 1930,5 Kg por vehículo al año. Esta disminución en las emisiones de gases contaminantes está en plena sintonía con la política medioambiental del Ministerio de Defensa, que busca mejorar la calidad medioambiental minimizando la contaminación producida por las Fuerzas Armadas.
- La política de seguridad energética apuesta por el ahorro energético, con el objetivo de reducir la dependencia exterior. Como se ha analizado se produce un ahorro por vehículo de 742,5 litros de combustible a lo largo del año.
- En su empleo táctico, la firma térmica y el nivel de ruido producido por un vehículo híbrido es inferior al que produce un vehículo de combustión interna. Esto aumenta las posibilidades de no ser detectado por el enemigo, y por lo tanto, dota a estos vehículos de una gran ventaja especialmente en las misiones de reconocimiento.

Al inicio de este trabajo, pensaba que el tamaño y peso de las baterías sería un gran problema, como comenta [13]. Sin embargo, una batería con la capacidad suficiente para realizar un cambio de posición o la entrada en una posición de tiro, apenas representa un 0,6% del peso total del vehículo así como un 0,8% del volumen interno, sin contar con los elementos auxiliares.

Todas las aproximaciones realizadas son teóricas y como se comenta en [12], hay retos muy importantes a los que los vehículos de combate híbridos deben enfrentarse, entre los que se puede destacar;

- El largo ciclo de vida de un vehículo de combate.
- El empleo de un vehículo de combate en todo tipo de condiciones y terrenos.

En estas condiciones los modelos civiles no tienen la suficiente experiencia, esto implica que dichas pruebas deberán ser realizadas por la empresa que desee desarrollar un vehículo de combate híbrido. Si bien es necesario tener presente a los camiones de minería. Estos emplean una transmisión diesel eléctrica, son utilizados tanto fuera de carretera como en condiciones climáticas muy diversas (desde el frío polar de Alaska hasta el desierto de Atacama), y están diseñados para tener una gran durabilidad. La experiencia en su desarrollo puede ser trasladada al desarrollo de un vehículo de combate.

Ningún prototipo de un vehículo de combate híbrido ha llegado a fabricarse en serie. Esto supone que pese a las ventajas teóricas que se han obtenido, existen una serie de inconvenientes que hacen imposible su fabricación en serie. Desde mi punto de vista, el alto coste de un desarrollo de un vehículo híbrido es un hándicap muy importante. Un vehículo de combate presenta un coste muy elevado, debido a la fuerte inversión inicial necesaria para su desarrollo que se debe repercutir en una serie de producción muy corta. Además será necesario que el fabricante realice pruebas fuera de carretera y pruebas de durabilidad. El coste de estas pruebas recaerá directamente en el precio del vehículo de combate, lo que hace perder el interés de los países por adquirir dicho vehículo.

La adquisición de un vehículo de combate *Micro-Hybrid*, que emplee un sistema Start-Stop y unas baterías con una capacidad suficiente para alimentar los componentes electrónicos del vehículo cuando el motor de combustión interna se encuentra apagado, parece una alternativa factible. Gracias al gran ahorro de combustible que se alcanza (742,5 litros al año) y a que la tecnología implicada no presenta ni un coste ni una complejidad excesiva. Resulta sorprendente que cualquier teléfono móvil tenga un sistema de gestión de su batería mucho

más avanzado que el de un vehículo de combate. Si este *know-how*, se transfiere al sistema de alimentación eléctrica del vehículo de combate, se conseguiría aumentar la vida de sus baterías y se podría hacer un mantenimiento predictivo que evitase la inmovilización del vehículo por un fallo de sus baterías. Un paso más sería conseguir el desarrollo de un vehículo *Strong-Hybrid*, que permitiese realizar pequeños desplazamientos empleando únicamente el motor eléctrico.

Como conclusión personal que he obtenido haciendo este trabajo fin de grado, es que la tecnología híbrida tiene un gran potencial, como demuestra el hecho de que cada vez hay más modelos civiles por nuestras ciudades. En el empleo militar también presenta este gran potencial aunque al ser todavía una tecnología muy inmadura en el campo militar, será necesario un mayor desarrollo en los modelos civiles para luego poder ser aplicado a los vehículos de combate.

8. Bibliografía:

- [1] "Lohner-Porsche Semper Vivus, Top 10 de los coches innovadores." [Online]. Available: <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-hibridos/porsche-semper-vivus-el-primer-hibrido-de-produccion-de-la-historia>. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [2] "Historia del coche híbrido: la tecnología se perfecciona." [Online]. Available: <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [3] "¿Cuánto hemos tardado en usar autobuses híbridos? Más de 40 años." [Online]. Available: <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-hibridos/cuanto-hemos-tardado-en-usar-autobuses-hibridos-mas-de-40-anos>. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [4] "Char d'Assault St. Chamond - Assault Gun / Self-Propelled Gun (SPG) - History, Specs and Pictures - Military Tanks, Vehicles and Artillery." [Online]. Available: http://www.militaryfactory.com/armor/detail.asp?armor_id=211. [Accessed: 30-May-2015].
- [5] "Elephant / Ferdinand." [Online]. Available: <http://tanquesyblindados.blogspot.com.es/2013/01/elephant-ferdinand.html>. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [6] "Panzerjäger Tiger(P) – Ferdinand – Elephant." [Online]. Available: <http://www.achtungpanzer.com/panzerjager-tiger-ferdinand-elephant.htm>. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [7] "T23 Medium Tank - World War II Wiki." [Online]. Available: http://world-war-2.wikia.com/wiki/T23_Medium_Tank. [Accessed: 26-May-2015].
- [8] Assault Blindes, "VBCI, Nuevo vehículo blindado de infantería", *War Heat International*, 15, n 18 (2013), p 10-56.
- [9] Motorpasion, "Ventas en España de coches híbridos e híbridos enchufables en 2014." [Online]. Available: <http://www.motorpasion.com/otros/ventas-en-espana-de-coches-hibridos-e-hibridos-enchufables-en-2014>. [Accessed: 21-Apr-2015].
- [10] "A París le cuesta 6 millones restringir el tráfico de vehículos un día." [Online]. Available: <http://www.expansion.com/empresas/motor/2015/03/23/551057c8268e3e8e5e8b4570.html>. [Accessed: 12-Jul-2015].
- [11] "Los coches híbridos y eléctricos que llegarán en 2015 - Ecomotor.es." [Online]. Available: <http://www.eleconomista.es/interstitial/volver/309928822/ecomotor/motor/noticias/6420621/01/15/Los-coches-hibridos-y-electricos-que-llegaran-en-2015.html>. [Accessed: 12-Jul-2015].
- [12] Rizzo, Denise M., "MILITARY VEHICLE OPTIMIZATION AND CONTROL", Disertation Michigan Technological University, 2014.
- [13] "FSCT , EL FUTURO VEHÍCULO BLINDADO 8x8 ESPAÑOL Junio 2008 FSCT , EL FUTURO VEHÍCULO BLINDADO 8x8 ESPAÑOL por Equipo de Análisis IDS," pp. 1–66, 2008.

- [14] "U.S. Military Orders Less Dependence on Fossil Fuels - NYTimes.com." [Online]. Available: http://www.nytimes.com/2010/10/05/science/earth/05fossil.html?pagewanted=all&_r=0. [Accessed: 26-May-2015].
- [15] A. Tecnológica, T. Emergentes, E. N. Profundidad, and E. D. E. Interés, "En este número : Vehículos de Propulsión Híbrida Sistemas DIRCM Cross-Layer Desing," 2006.
- [16] "FED Bravo, el híbrido destinado a sustituir al Humvee." [Online]. Available: <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-hibridos/fed-bravo-el-hibrido-destinado-a-sustituir-al-humvee>. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [17] "Army FED Bravo is a green Humvee alternative | TG Daily." [Online]. Available: <http://www.tgdaily.com/sustainability-features/63196-army-fed-bravo-is-a-green-humvee-alternative>. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [18] Jagels, George, "Waste Not, Want Not, TARDEC Improves Energy Efficiency, DoDPower, Energy Propulsion, 2013, p16-19.
- [19] Campbell, Keith, "ELECTRIC DRIVE New propulsion system under," Engineering News, 26, No42(2006), p 8.
- [20] "Fact file: Rooikat armoured car." [Online]. Available: http://www.defenceweb.co.za/index.php?option=com_content&task=view&id=496&Itemid=362. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [21] "Hoefyster production contract on the way." [Online]. Available: http://www.defenceweb.co.za/index.php?option=com_content&view=article&id=31021:hoefyster-production-contract-on-the-way&catid=50:Land&Itemid=105. [Accessed: 23-Apr-2015].
- [22] J. Francfort, A. Briones, P. Heitmann, M. Schey, S. Schey, and J. Smart, "Power Flow Regulations and Building Codes Review by the AVTA," *U.S. Dep. Energy Natl. Lab.*, no. September, 2012.
- [23] Kazbour, Shukri, "Tactical and Combat Fleet Roll-uo/Roll_away Microgrid, SPIDERS-II Industry Day 22 Apr 2014, p.1–15, 2014.
- [24] "General Dynamics UK - AHED 8x8 Completes Third Major Phase of UK FRES Technology Demonstration Programme." [Online]. Available: <http://www.generaldynamics.uk.com/news/fres-third-phase-complete>. [Accessed: 25-Apr-2015].
- [25] L. Boulon, A. Bouscayrol, D. Hissel, O. Pape, and M. C. Pera, "Fault-operation modes of a highly redundant military HEV," *2012 IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC 2012*, no. June, pp. 967–972, 2012.
- [26] Infodefensa.com, "NTGS anuncia que ya ha fabricado el 80% del nuevo vehículo TORO 8x8 y lo presentará en verano - Noticias Infodefensa España," Feb. 2010.
- [27] "NTGS -- Seguridad y Defensa." [Online]. Available: <http://www.ntgs.es/toro.htm>. [Accessed: 25-Apr-2015].
- [28] Caterpillar Global Mining, "Cómo encarar desafíos únicos con opciones de tren de transmisión para camiones de minería," no. 4, 2008.

- [29] "Manual sistema-electrico-potencia-camiones-830e-930e-komatsu." [Online]. Available: <http://es.slideshare.net/juliobustanza1/manual-sistemaelectricopotenciacamiones830e930ekomatsu>. [Accessed: 26-Apr-2015].
- [30] Colegio Oficial de Ingenieros Navales y oceanicos "Plantas combinadas," [Online]. Available <http://ingenierosnavales.innot.es/DOCUMENTACIONFOROS/PLANTAS%20COMBINADAS%203.pdf>. [Accessed :02-May-2015].
- [31] Man Diesel and Turbo, "Hybrid Propulsion, Flexibility and Maximum Efficiency Optimally Combined", 2012.
- [32] "Alemania equipa a sus fragatas F125 con el radar naval TRS-4D de Cassidian." [Online]. Available: http://www.defensa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8006:alemania-equipa-a-sus-fragatas-f125-con-el-radar-naval-trs-4d-de-cassidian&catid=57:otan&Itemid=186. [Accessed: 29-Apr-2015].
- [33] "La futura fragata F110 para la Armada española avanza en su definición." [Online]. Available: http://www.defensa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13704:la-futura-fragata-f110-para-la-armada-espanola-avanza-en-su-definicion&catid=54:espana&Itemid=162. [Accessed: 29-Apr-2015].
- [34] J. Costas, "Scania R 620 Topline, miniprueba (parte 1)." [Online]. Aailable: <http://www.motorpasion.com/pruebas-de-coches/scania-r-620-topline-miniprueba-parte-1>. [Accessed: 20-Aug-2015].
- [35] "Preguntas frecuentes coches híbridos FAQs." [Online]. Available: <http://www.toyota.es/hybrid-innovation/faqs/index.json>. [Accessed: 09-Jun-2015].
- [36] "Toyota Hybrid Battery Replacement Cost Guide." [Online]. Available: http://www.greencarreports.com/news/1078138_toyota-hybrid-battery-replacement-cost-guide. [Accessed: 09-Jun-2015].
- [37] "El mantenimiento de un vehículo híbrido, un 50% más barato." [Online]. Available: http://www.coches.net/espacios/toyota/tecnologiahibrida/1307_Hibridos.html. [Accessed: 08-Jun-2015].
- [38] Bouza Lopez Manuel Angel, "Defensa y medio ambiente.", Madrid, ESFAS, 2011.
- [39] IDAE, "Manual de Conducción eficiente para conductores de vehículos industriales." Madrid, IDAE, 2005
- [40] G. Wu, X. Zhang, and Z. Dong, "Powertrain architectures of electrified vehicles: Review, classification and comparison," *J. Franklin Inst.*, vol. 352, pp. 425–448, 2013.
- [41] "Sistemas Híbridos de Toyota - e-auto.com.mx - El Sitio de los Mecánicos y Refaccionarios." [Online]. Available: <http://e-auto.com.mx/enew/index.php/85-boletines-tecnicos/2236-sistemas-hibridos-de-toyota>. [Accessed: 19-Aug-2015].
- [42] Garmendia, Marc, "Vehículo comercial híbrido Serie-Paralelo", Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2007, pp. 1–36.

- [43] FITSA, "Tecnologías de propulsión híbridas y las evidencias científicas de su eficacia." FITSA, Madrid, 2006.
- [44] Canseco Ramirez, Manuel Alejandro "Sistema de propulsión de un vehículo híbrido eléctrico," CENIDET, Cuernavaca (México), 2004.
- [45] F. H. Sobrino and C. R. Monroy, "La alternativa factible a los combustibles fósiles en España : El hidrógeno .," 2010.
- [46] Funez Guerra Carlos, Clemente Ful Carmen, Montes Ponce de Leon Manuel, " Comparación de tecnologías de almacenamiento energético proveniente de energías renovables", Anales de la Real Academia de Doctores de España, volumen 16, No 1, 2012, pp. 29–49,
- [47] "El coche de hidrógeno no es solo humo: estos son sus retos." [Online]. Available: <http://www.xataka.com/gadgets-y-coches/el-coche-de-hidrogeno-no-es-solo-humo-estos-son-sus-retos>. [Accessed: 03-May-2015].
- [48] L. Kumar and S. Jain, "Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, pp. 924–940, 2014.
- [49] Mando de Adiestramiento y Doctrina, "Tripulación del VRCC "Centauro",", disponible en Intranet, (http://madoc.mdef.es:5500/Apli/D_BibliotecaVirtual.nsf/InicioWeb), 2015.
- [50] Ministerio de Defensa, "Manual Técnico 06-35." Ministerio de Defensa.
- [51] Infodefensa, "Vehículo Blindado de Ruedas 'VBR' 8x8," [Online]. Available: <http://regimiento-numancia.es/vehiculos/VBR8x8.pdf>. [Accesed: 03-May-2015].
- [52] "Catálogo del Toyota Prius plug-in hybrid." [Online]. Available: <http://www.toyota.es/coches/prius-plugin/prius-plugin-in-brochure.json>. [Accessed: 05-Aug-2015].
- [53] "2015 Honda Civic Hybrid - Specifications - Official Honda Website." [Online]. Available: <http://automobiles.honda.com/civic-hybrid/specifications.aspx>. [Accessed: 25-Apr-2015].
- [54] "2015 Chevrolet Volt | Options & Specifications | Chevrolet Canada." [Online]. Available: <http://www.gm.ca/gm/english/vehicles/chevrolet/volt/compare-options-and-specifications#mechanical>. [Accessed: 05-Aug-2015].

Anexo 1: Clasificación de los vehículos híbridos.

Un vehículo híbrido está formado por un motor de combustión interna, un sistema de almacenamiento de energía que generalmente será una batería, 1 o varios motores eléctricos, un convertidor de potencia cuya función es alimentar tanto los sistemas eléctricos como electrónicos y controladores electrónicos.

1.1. Clasificación inicial

Acorde a la información obtenida en el artículo [40], los vehículos híbridos se denominan según su grado de hibridización, en;

- *Micro-Hybrid*, sólo presentan una pequeña batería de 12 V encargada de realizar la función *Start-Stop* de manera automática.
- Los *Mild-Hybrid* (medio), asisten al movimiento y presentan la función de frenada regenerativa. Dicho vehículo debe recuperar durante la función de frenada regenerativa al menos el 15% de la energía.
- Los *Strong-Hybrid*, pueden desplazarse empleando únicamente el motor eléctrico, y en la frenada regenerativa deben recuperar al menos el 65% de la energía.

Dentro de esta clasificación inicial se debe incluir;

- El híbrido *Plug-In*, el cual tiene una toma de corriente que le permite cargar las baterías a partir de la corriente eléctrica.
- El vehículo híbrido denominado *ER-EV (Extended Range Electric Vehicle)*, o vehículo eléctrico de autonomía extendida, el cual puede recorrer unos 60 km empleando solamente energía eléctrica, pudiendo a continuación funcionar el motor de combustión interna.

No son objeto de este estudio el vehículo eléctrico puro (*PEV*), ni el vehículo *FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)*, el cual funciona a partir de hidrógeno.

1.1. Clasificación según el sistema empleado.

Según el sistema empleado se puede clasificar entre híbrido paralelo, (punto 1.1.1.), híbrido en serie o transmisión diesel eléctrica, (punto 1.1.2.) e híbrido Split o mixto (punto 1.1.3).

1.1.1. Híbrido en paralelo.

Sistema compuesto por un motor de combustión interna, un motor eléctrico, una batería y una central de control de vehículo, (encargada de dirigir el flujo de energía entre el motor eléctrico y la batería).

Acorde a los artículos [40] y [42], en un sistema híbrido en paralelo, el motor eléctrico y el motor de combustión interna están acoplados (unidos rígidamente) con el eje tractor (generalmente en la transmisión), pudiendo trabajar los motores de forma separada o conjunta. El motor eléctrico, actúa como un generador para cargar las baterías en las frenadas.

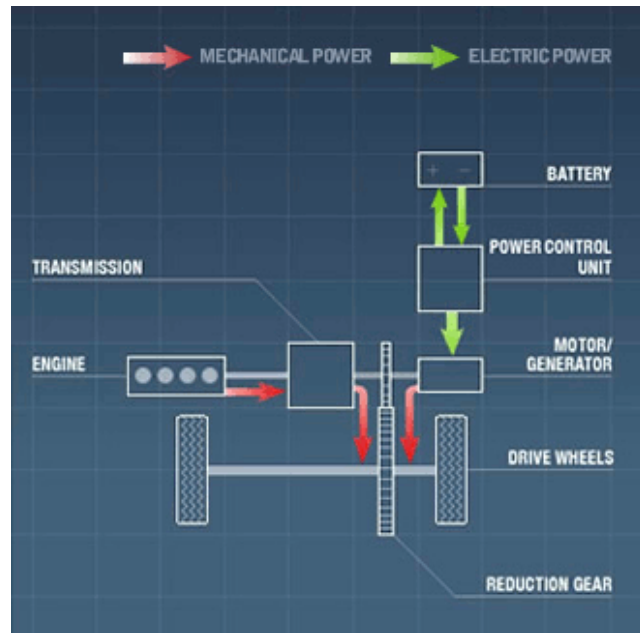


Figura 11: Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido en paralelo, donde se muestra los componentes del sistema y los flujos de energía. En rojo los flujos de energía mecánica y en verde los de energía eléctrica. Fuente: [41].

1.1.2. Híbrido en serie o transmisión diesel eléctrica.

En este tipo de sistema, el vehículo, emplea un generador, un motor eléctrico, un motor de combustión interna, un sistema de almacenamiento de energía y la central de control del vehículo.

Según los artículos [40], [43], [44],y [42], este sistema funciona como un vehículo eléctrico. El generador convierte la energía proporcionada por el motor de combustión interna (este nunca funciona como elemento de tracción) en energía eléctrica. Esta energía eléctrica es transformada en energía mecánica en el motor eléctrico propulsando el vehículo. En la figura 2 se explica el sistema de funcionamiento. Este es el sistema empleado por los camiones de minería y los buques marítimos.

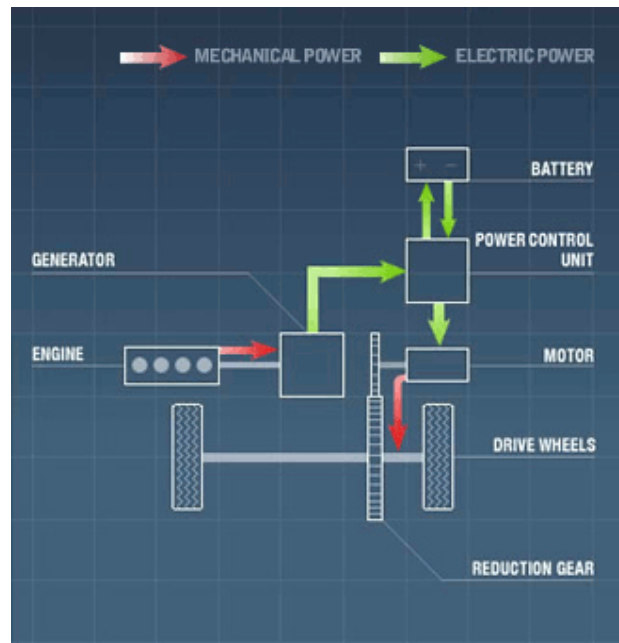


Figura 12: Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido en serie donde se muestra sus componentes y los flujos de energía. En rojo los flujos de energía mecánicos y el verde los flujos de energía eléctrica. Puede apreciarse en el esquema el motor de combustión interna no puede transmitir su energía directamente a las ruedas. La energía producida por el motor de combustión interna se transmite directamente al generador. Se puede apreciar que el motor eléctrico es el único encargado de transmitir energía al eje. Fuente: [41]

Algunos modelos presentan la posibilidad de cargar las baterías mediante una toma de corriente convencional.

Entre las ventajas de dicho modelo;

- La ausencia de componentes mecánicos entre las ruedas y el motor, lo que posibilita disminuir su tamaño, así como permitir al motor de combustión interna trabajar en su zona de mayor eficiencia.
- El motor eléctrico puede desarrollar un gran par de fuerza a baja velocidad.
- Durante las frenadas el motor eléctrico funciona como un generador lo que permite recuperar la energía de forma más eficiente que en los otros sistemas.

Sus inconvenientes principales son;

- Baja eficiencia a alta velocidad, por las múltiples transformaciones de energía.
- El motor eléctrico es el único encargado del movimiento del vehículo lo que le convierte un elemento crítico, esto provoca un aumento en su precio para conseguir una alta fiabilidad.
- La principal desventaja reside en que el motor de combustión interna no puede funcionar como elemento de tracción.

Este sistema es especialmente útil cuando es necesario un gran par de fuerza a una velocidad baja.

Es empleado principalmente para *Strong-hybrid*, *PHEV* y *ER-EV*, como es el caso del *Chevrolet Volt*.

1.1.3. Híbrido Split o mixto.

Este modelo consta del PSD (*Power Split Device* o divisor de la potencia de salida del motor eléctrico) formado por un engranaje planetario que consta de 3 puertos, un motor de

combustión interna, un generador, un motor eléctrico, una batería y la central de control de vehículo.

Su principal característica reside en que el movimiento es producido o por el motor eléctrico, o bien por el motor de combustión interna o por una combinación de ambos motores. Generalmente, a baja velocidad la energía es provista por el motor eléctrico y el motor de combustión interna es accionado cuando se necesita una mayor potencia. Este sistema es el empleado en los vehículos *Toyota* y *Lexus*.

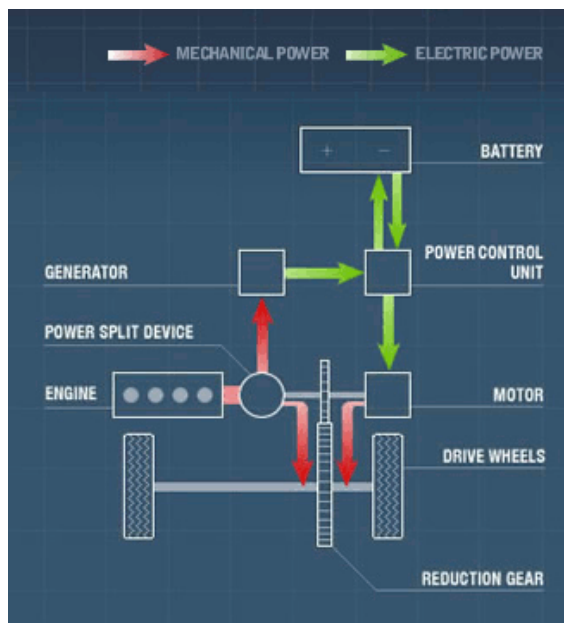


Figura 13: Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido mixto, donde se muestran sus componentes, (presenta a la salida del motor de combustión interna un componente que se encarga de repartir la potencia entre el eje y el generador) y los flujos de energía en rojo la energía mecánica y en verde la energía eléctrica. Fuente: [41]

El vehículo híbrido mixto, intenta obtener las ventajas de combinar el híbrido en paralelo con el híbrido en serie. El PSD tiene la función de que el motor de combustión interna solo trabaje en su zona de eficiencia, y que el par de fuerza de salida sea proporcional en los 3 puertos del engranaje. El motor eléctrico debe tener siempre una potencia de salida grande. Esto impide que este modelo sea empleado en los *Mycro-HEV* y *Mild-HEV*.

Por el contrario este modelo sufre las limitaciones del engranaje planetario, siendo solamente eficiente para un determinado rango de velocidades y la flexibilidad del diseño está limitada por la unión entre el motor eléctrico y el motor de combustión interna mediante el PSD.

En la siguiente tabla numero 3 se comparan los tres sistemas, serie paralelo y mixto, clasificándose en poco eficiente, bueno y normal. Se ha analizado la reducción de pérdida energética, la recuperación de energía, la asistencia al motor eléctrico, el rendimiento y la eficiencia del sistema.

	Reducción de pérdida energética.	Recuperación de energía.	Asistencia al motor eléctrico.	Rendimiento.	Eficiencia del sistema.
Serie.	Bueno.	Bueno.	Poco eficiente.	Normal.	Normal.
Paralelo.	Bueno.	Normal.	Bueno.	Normal.	Normal.
Mixto.	Bueno.	Bueno.	Bueno.	Bueno.	Bueno.

Tabla 3: Comparativa entre los diferentes sistemas.

Anexo 2: Componentes de los vehículos híbridos.

En este anexo se hará un estudio de las diferentes posibilidades que puede presentar los diferentes componentes de un vehículo híbrido, donde se realiza una comparativa entre las diferentes baterías o modo de almacenamiento de energía (punto 2.2.1.) y motores eléctricos (punto 2.2.2.).

2.2.1. Posibilidades en el almacenaje de energía:

Actualmente entre las formas de almacenar energía se puede destacar el ultra condensador, el volante de inercia, la pila de hidrógeno y las baterías.

El ultra condensador almacena la energía en forma de campo eléctrico lo que les hace mucho más eficiente y estos pueden desarrollar una gran potencia energética, por el contrario su capacidad es muy baja y su densidad energética es pequeña. Por ejemplo, este es utilizado en el tramo sin catenaria del tranvía de Zaragoza.

El volante de inercia presenta el problema de su gran tamaño y que se trata de una tecnología bastante madura con poca capacidad de mejora. Este es empleado en el sistema de alimentación ininterrumpida del aeropuerto de Zaragoza.

Otra posibilidad muy popular y que está siendo muy investigada es la pila de hidrógeno. En este caso sólo consideraremos al hidrógeno como combustible de una pila de combustible, que produce electricidad directamente en el electrizador, no como combustible de un motor de combustión interna. Según los artículos [45], [46] y [47], el principal problema que presenta es que para obtener hidrógeno mediante hidrólisis de agua de mar es necesario el doble de energía de la que el hidrógeno es capaz de proveer. A esto le debemos añadir el coste del transporte y la distribución. Además el ciclo de vida de la pila de hidrógeno actualmente es de 2500 horas, alrededor de 150000 km a una media de 60 kilómetros por hora.

En la tabla 4, se hace una comparación entre las diferentes formas de almacenar energía; la batería de plomo, el ultra capacitador, la pila de hidrogeno y el volante de inercia. En esta tabla se muestra su principio de funcionamiento, el estado de desarrollo de la tecnología. De igual forma se compara la densidad energética, (energía por unidad de volumen), su densidad de potencia (potencia por unidad de volumen) y su tiempo de descarga. También se compara su ciclo de vida y por último, su eficiencia.

	Batería de plomo	Ultra capacitador	Pila de hidrogeno	Volante de inercia
Principio de funcionamiento	Energía química	Electroestática	Energía química.	Energía mecánica
Estado de la tecnología	Desarrollada y madura.	En desarrollo.	En desarrollo.	Desarrollada
Densidad energética	Alta.	Baja.	Muy alta.	Baja
Densidad de potencia	Baja.	Muy alta.	Media.	Alta
Tiempo de descarga	Horas.	Segundos.	-	Minutos.
Ciclo de vida.	3-5 años	>10 años	2500 h	>20 años.
Eficiencia	75-85%	85-95%	40-60%	Muy baja.

Tabla 4: Comparativa entre las diferentes formas de almacenar energía. Fuente: artículo [48].

El sistema de almacenamiento más empleada a día de hoy en los vehículos híbridos son las baterías. Inicialmente todos los vehículos híbridos empleaban las baterías de níquel-hidruro, pero la tendencia actual es a emplear baterías de Ion-Litio en los nuevos modelos.

En la tabla 5 se comparan las baterías de Ion-Litio, las de polímero de litio, las de níquel metal hidruro y las de níquel cadmio entre sí. En esta se compara el voltaje nominal, (tensión de una celda de la batería), la energía específica (energía por unidad de masa), la densidad energética (energía dividida por el volumen) y la potencia específica (potencia entre masa) que interesa que todas las características sea la mayor posible. También se analiza la densidad de potencia (potencia por unidad de volumen) y por último, el ciclo de vida que interesa que sea el mayor posible en ambos casos.

Tipo de batería	Ion-Litio	Polímero de litio.	NI-MH	NI-Cd	Batería de plomo
Voltaje nominal (V)	3.6	3.0	1.2	1.2	2.0
Energía específica (Wh/kg)	35	100-200	60	40-60	35
Densidad energética (Wh/l)	70	150-350	220	60-100	70
Potencia específica (W/kg)	200		130	140-220	200
Densidad de potencia (W/l)	400	>350	475	220-350	400
Ciclo de vida	500-1000	200-1000	300-500	300-700	250-500

Tabla 5.Comparativa entre los principales tipos de batería. Fuente: [48].

2.2.2. Posibilidades de los motores eléctricos.

El motor eléctrico empleado en un vehículo híbrido presenta unas características propias que lo diferencia de un motor eléctrico industrial entre las que se puede destacar;

- Necesita un gran par de fuerza para iniciar el movimiento y para subir pendientes a baja velocidad.
- Es necesaria una alta densidad energética para los momentos donde se requiere una gran aceleración o una alta velocidad.
- El motor eléctrico de un vehículo debe ser eficiente para diferentes rangos de par de fuerza y de velocidad.
- Este motor debe presentar un bajo nivel de ruidos, una alta fiabilidad y robustez.

Entre los motores eléctricos empleados se debe destacar el motor de corriente continua, el motor de imanes permanentes, el motor de inducción y el motor de reluctancia variable. De acuerdo al artículo [48].

El motor de corriente continua, es el más empleado por los motores eléctricos de baja potencia y bajo coste debido a su gran par de potencia de arranque. Muestra un simple control de velocidad y una gran madurez técnica. Entre sus desventajas se debe destacar su baja eficiencia, que limita su uso a alta velocidad así como la presencia de conmutadores, que requieren un mantenimiento.

El motor de inducción presenta ventajas como su simplicidad, su alta fiabilidad y robustez. También permite trabajar en un amplio margen de velocidades, presenta un bajo nivel de ruido y es necesario un escaso mantenimiento. Como principales desventajas se debe destacar el pobre factor de potencia y su regulación más compleja que el motor de corriente continua.

El motor de imanes permanentes presenta, entre sus principales ventajas una alta densidad de potencia, una alta fiabilidad y eficiencia, y un pequeño tamaño y volumen. Sus principales desventajas son su precio, y que a altas temperaturas se puede desmagnetar.

El motor de reluctancia variable presenta una construcción simple y robusta. Este funciona de forma óptima a altas velocidades, presenta una buena relación par de potencia y velocidad. Entre sus principales desventajas se debe prestar atención a su alto nivel de ruido,

debido a las vibraciones producidas y a que requiere un control complejo. Además hoy por hoy presenta un alto coste, si bien se espera que con su producción en cadena estos costes sean menores.

La tabla 6, se evalúan los motores eléctricos de corriente continua, de inducción, de imanes permanentes y de reluctancia variables con una calificación entre el 1 y el 10 (siendo esta la calificación más alta). Se evalúan aspectos como el control, el tamaño y peso, la robustez, la fiabilidad, la densidad energética, la eficiencia, el rango de velocidad a la que permite trabajar, el ciclo de vida, la densidad de par, la madurez en el desarrollo, el coste, así como el ruido y el potencial de mejora.

Características	Motor de corriente continua	Motor de inducción.	Motor de imanes permanentes	Motor de reluctancia variable
Control.	10	10	8	6
Tamaño y peso.	6	8	9	8
Robustez.	7	10	8	9
Fiabilidad.	6	10	8	9
Densidad energética	6	8	10	7
Eficiencia.	6	8	10	9
Rango de velocidad.	5	8	10	10
Ciclo de vida.	6	8	10	9
Densidad de par.	6	7	10	8
Madurez técnica.	10	9	8	7
Coste.	7	10	6	8
Ruido.	7	9	8	6
Potencial de mejora.	5	6	9	10

Tabla 6: Características de los diferentes tipos de motores eléctricos. Fuente: [48].

En la tabla 5 se analizan los modelos *Tesla S*, *Chevrolet Volt*, *Honda Civic* y *Toyota Prius Plug In*. En la tabla se comparan el tipo de motor eléctrico empleado por cada uno de los modelos, el año de lanzamiento de dicho modelo y su potencia específica

Modelo.	Año de lanzamiento.	Tipo de motor eléctrico.	Potencia (Kw).
<i>Tesla S.</i>	2012	Motor de inducción	215
<i>Chevrolet Volt.</i>	2011	Motor de imanes permanentes	111
<i>Honda Civic.</i>	2013	Motor de imanes permanentes	17
<i>Toyota Prius plug-In.</i>	2011	Motor de imanes permanentes	60
<i>Renault Fluence.</i>	2011	Motor de reluctancia variable	70

Tabla 7. Motores eléctricos empleados por diferentes vehículos. Fuente: [48].

ANEXO 3:

En este Anexo se muestran las características técnicas de los vehículos 8x8 *Centauro*, *Boxer*, *Patria AMV*, *VBCI* y *Piraña III*.

1. *Centauro B1*.

El *Centauro* es un vehículo de combate 8x8 con una gran movilidad tanto táctica (puede franquear obstáculos, vadear cursos de agua y superar pendientes laterales y frontales), y operacional. Está armado con un cañón de 105/52 mm. Ha sido adquirido por el Ejército de Tierra y por tanto se tiene acceso a sus manuales [49] y [50].

Dimensiones y pesos.

La longitud total del vehículo de combate *Centauro* es 8.587 mm (con el cañón situado a las 12), siendo su longitud del casco 7.630 mm. Presenta una anchura máxima (hasta los guardabarros) de 3.050 mm si bien considerando su anchura únicamente hasta las ruedas es de 2945 mm. Su altura máxima sin carga es de 2735 mm disminuyendo cuando está cargado hasta los 2710 mm. Su altura libre sin carga (medido desde la panza del vehículo hasta el suelo), es de 442 mm y cargado disminuye hasta los 415 mm. La distancia entre centros de ruedas paralelas es de 2.505 mm y su distancia entre ejes es de 1.600 mm + 1.450 mm + 1.450 mm = 4.500 mm (entre el primer y último eje).

Su peso en vacío aproximado sin blindaje reactivo es 25,250 T aumentando en combate hasta las 26,850 T y su clase de carga 28.

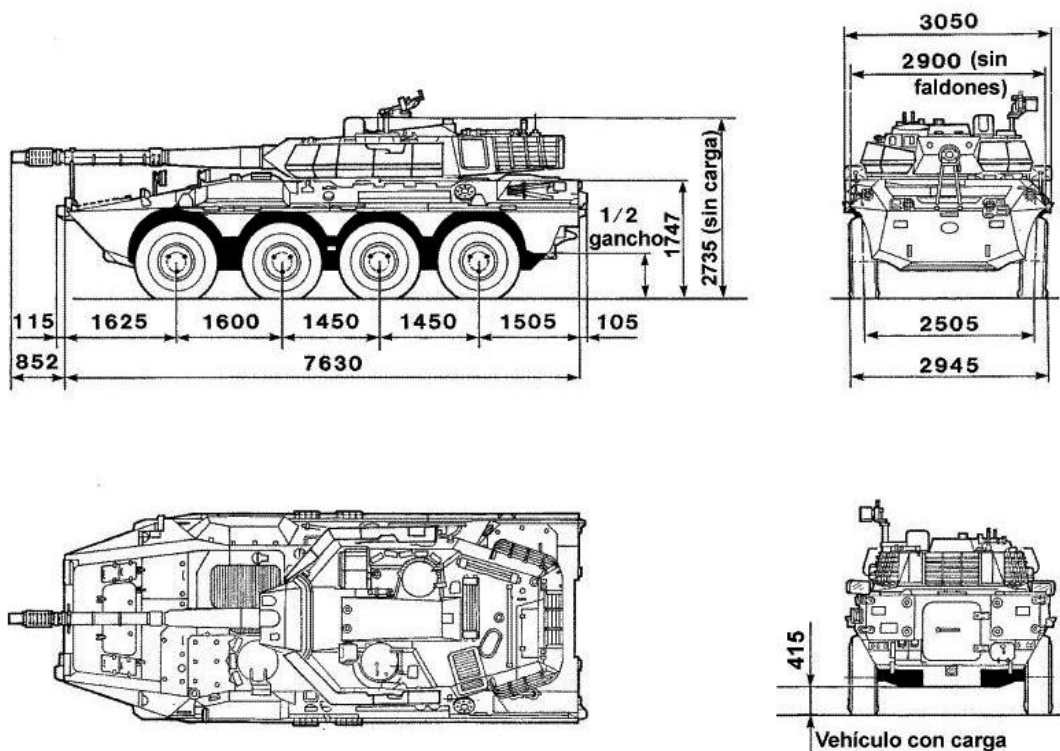


Figura14: Vistas y medidas del cazacarros *Centauro B1*. Fuente: Manual de tripulación del VRCC *Centauro* elaborado por el MADOC

Motor.

El motor empleado es un motor diesel de inyección directa de 12,88 litros. Está refrigerado por agua, sobrealimentado por turbocompresor y ha sido fabricado por la empresa italiana Fiat. Desarrolla una potencia máxima de 382 kW y un par máximo de 1870 Nm.

Si la temperatura está entre los 20 y 44 °C, el arranque se realiza mediante un motor de arranque de Tipo Bosch KE 24 V y 7.5 kW. Si la temperatura se encuentra entre los -10 y 20 grados, es necesario el auxilio de 2 termo arranques con una tensión de alimentación de 24 V.

Sistema eléctrico.

Este vehículo provee una tensión nominal de 24 V, cuyo sistema de recarga es un alternador de 28 V con una potencia de 12 kW. Emplea 6 baterías de 12 V y 420 A cada una, conectada dos a dos en serie-paralelo, lo que garantiza el suministro de energía cuando el motor está apagado.

Con el interruptor principal o máster apagado es posible aislar el sistema eléctrico de las baterías, para limitar la descarga de las baterías durante el almacenamiento.

Todos los componentes eléctricos del vehículo están diseñados para funcionar con una corriente de 28 V cuando el grupo motor propulsor está en funcionamiento y 24 V cuando este se encuentra apagado.

El alternador funciona con un condensador de inductancia y la corriente trifásica de su salida es rectificadora antes de llegar a los reguladores de tensión.

2. Transporte Acorazado de Personal *Boxer* GTK / PWV.

De acuerdo al artículo [51], el vehículo 8x8 es empleado tanto por el Ejército alemán como por el Ejército holandés, cuenta con un armamento principal de 12,70 mm aunque presenta múltiples posibilidades al tratarse de un diseño modular.

Dimensiones y pesos.

Presenta un peso en combate de 33 toneladas, con una longitud de 7,93 m, una anchura de 2,99 m siendo su distancia entre ejes de 1,55, 2 y 1.55 m. Presenta un volumen interno de 14 metros cúbicos. Los modelos con un techo elevado poseen un volumen de 17,5 metros cúbicos.

Motor.

La unidad propulsora que emplea es un motor MTU 8V199 TE20, Euro III, diesel, de 720 CV o 529,5 kW.

Sistema eléctrico.

Este vehículo presenta una tensión nominal de 24 V y 8 baterías de 12 V conectadas de 4 en 4.



Figura 15: Vehículo *Boxer* en pruebas. Fuente: [51]

3. Vehículo acorazado modular *AMV*.

Según el artículo [51], este vehículo desarrollado por la empresa finlandesa *Patria* en consorcio con la americana *Lockheed Martin*. Ha sido adquirido recientemente por los Ejércitos de Croacia, Eslovenia, Emiratos Árabes Unidos, Finlandia, Polonia, Suecia y Sudáfrica. Al igual que el vehículo *Boxer*, el armamento principal varía en función de los requerimientos de cada ejército al tratarse de un diseño modular.

Dimensiones y pesos.

Presenta un peso en combate de 26 toneladas. Presenta una longitud de 7,70 m siendo la distancia entre ejes de 1,40, 1,70 y 1,45 m, una anchura de 2,80 m, y una altura sin incluir el armamento de 2,30 m. Presenta un volumen interno de 13,5 m³.

Motor.

La unidad propulsora está formada por un motor *Scania* DI12, turbo diesel, con una potencia máxima de 540 CV o 397,2 kW. Existen también versiones a partir de 400 CV o 294,2 kW.

Sistema eléctrico.

El único dato que se ha podido obtener del vehículo *AMV Patria* en lo referente al sistema eléctrico es que presenta una tensión nominal de 24 V.



Figura 16: Vehículo AMV Patria con diferentes versiones de armamento. Fuente: [51]

4. Vehículo blindado de Combate de Infantería VBCI.

Según el artículo [51] y [8], el vehículo de combate de infantería ha sido desarrollado por la empresa francesa *Nexter*, su armamento principal es Torre Dragar con cañón de 25 mm y una ametralladora coaxial de 7,62 mm. Existe la versión con una estación de armas remota (RCWS) que emplea una ametralladora de 12,70 mm

Pesos y dimensiones.

Presenta un peso en combate máximo de 28 toneladas, una longitud de 7.8 m, una anchura de 2.98 m y una altura sin incluir el armamento principal de 2,26 m. Presenta un volumen de 13 m³.

Motor.

Emplea un motor Volvo D12, turbo diesel, el cual desarrolla una potencia máxima de 550 CV o 404.5 kW.

Sistema eléctrico

La única información obtenida sobre el sistema eléctrico es que posee una tensión nominal de 24 V.



Figura 17: Vehículo blindado francés VBCI. Fuente: [8].

5. Vehículo Acorazado de Ruedas Multiuso *Piraña III E / V E*.

Según el artículo [51] , el Piraña III ha sido desarrollado por *General Dynamics* y presta servicio, en diferentes configuraciones, en los Ejércitos de Bélgica, Dinamarca, Irlanda, Suecia, España (Infantería de Marina) y Suiza. Algunas versiones derivadas son empleadas por Canadá y Nueva Zelanda (LAV III) así como por los EEUU (*Stryker*). El Piraña V es un derivado del *Piraña Evo* y se encuentran en fase de desarrollo, estando previsto que se fabriquen varios prototipos durante los próximos meses.

Dimensiones y pesos.

El Vehículo *Piraña* presenta un peso en combate que varía entre las 25 y 30 toneladas. Posee una longitud de 7,3 m y una anchura que varía según el modelo. El empleado por la Infantería de Marina española presenta una anchura de 2,66 m, pero el resto de modelos presenta una anchura de 2.80 m. Presenta una altura entre los 2,17 m (versión española) o los 2,25 m. Su volumen interno varía según la versión entre los 13 y 15 m³.

Motor.

La unidad motora está formada por un motor *Caterpillar* de 450 CV o 331 kW (caso del vehículo empleado por España) o el *MTU* de 580 cv o 426,6 kW.

Sistema eléctrico.

El único dato que se ha podido obtener sobre el sistema eléctrico del vehículo Piraña es que tiene una tensión nominal de 24 V.



Figura 18: Vehículo Piraña III. El modelo empleado por la Infantería de Marina española presenta un peso y dimensiones inferiores debido a que debe ser transportado en las barcasas de desembarco.
Fuente: [51].

Anexo 4:

Comparativa entre los vehículos híbridos. La información sobre el *Toyota Prius* se ha obtenido en [52], sobre el *Honda Civic* en [53], y sobre el *Chevrolet Volt* en [54].

Vehículo	Motor de combustión interna.	Motor eléctrico	Batería.
<i>Toyota Prius Plug in.</i> (Vehículo tipo híbrido Split)	Motor de gasolina con una cilindrada de 1,7 litros, con una potencia máxima de 73 kW,	Motor asíncrono de imanes permanentes con una tensión máxima de 650 V y una potencia de 60 kW.	Batería de Ion-Litio que consta de 516 módulos con una tensión nominal de 201,6 V
<i>Honda Civic Hybrid.</i> (Hibrido es paralelo)	Motor de gasolina con una cilindrada de 1,5 litros con una potencia máxima de 81 kW.	Motor eléctrico con un voltaje que varía entre los 108 y los 172 V, con una potencia máxima de 17 kW.	Batería de Ion-Litio con una potencia de 10 kW y una tensión máxima de 144 V.
<i>Chevrolet Volt 2015.</i> (Hibrido en serie)	Motor de gasolina de con una cilindrada de 1.4 litros con una potencia máxima de 61 kW.	Denominado <i>Voltec</i> con una potencia máxima de 55 kW.	Batería de Ion-Litio con una tensión máximo de 120 V.